DIRECCION GENERAL DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO

CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

MAGNETISMO TERRESTRE

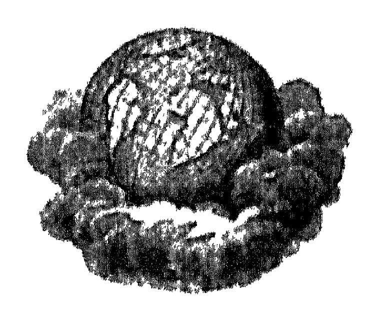
SU ESTUDIO EN ESPAÑA

POR

UBALDO DE AZPIAZU
COMANDANTE DE INGENIEROS
E INGENIERO GEÓGRAFO

RODRIGO GIL
CAPITÁN DE ARTILLERÍA
E INGENIERO GEÓGRAFO

JEFES DE LAS BRIGADAS DEL MAPA MAGNÉTICO



TALLERES DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO
MADRID - 1919

AL CONGRESO NACIONAL DE INGENIERÍA

El Instituto Geográfico cree de su deber el someter al Congreso Nacional de Ingeniería esta Memoria, justificándola por la conveniencia de divulgar entre los profesionales, unos trabajos que por su gran importancia científica y aplicaciones prácticas deben ser de todos los Ingenieros conocidos para que puedan utilizarlos, ya que no podría encontrar tal justificación, ni en la originalidad ni en la importancia de este trabajo, demasiado modesto en relación con la mentalidad de los que habrán de leerlo y juzgarlo.

En tales razones funda el pretendido honor de dirigirse al Congreso Nacional de Ingeniería.

Hace pocos meses, al conocer la pérdida de la Memoria presentada por los Ingenieros Fort y Gil, que suscribe, a su regreso de Postdam, concebimos la idea de redactar otra que la sustituyese, limitada a unas instrucciones reglamentarias para los trabajos de observación y cálculo de los elementos magnéticos.

Posteriormente, la curiosidad que el comenzado estudio del magnetismo en España producía en cuantos tenían de él noticia, y las muchas peticiones de datos que al Instituto Geográfico comenzaban a llegar, cuyo número va en considerable aumento, nos hicieron concretar la idea y pensar en ampliar el contenido del escrito en proyecto.

Por fin, al anuncio del Congreso Nacional de Ingeniería, y al calor de bondadosos requerimientos de algunos amigos y compañeros, nació este trabajo en su forma actual.

Comenzóse a escribir para que en forma anónima fuese presentado al Congreso por el Instituto Geográfico, pero la bondad de su actual Director, Excmo. Sr. D. José de Elola, cuya extensa cultura anda probada en libros, revistas y aparatos científicos de su invención, nos ordenó poner al pie los nombres de sus redactores. Y no paró aquí, sino que aún quiso darla a la imprenta, honor que seguramente no merece por lo que de nuestro tiene, pero que estimamos y aceptamos, por si para alguien pueden, como es nuestro deseo, ser de alguna utilidad los datos y noticias consignados.

I

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DEL MAGNETISMO TERRESTRE Y SUS APLICACIONES

Desde hace miles de años utiliza la Humanidad la aguja imantada para orientarse, y si en un principio sus aplicaciones fueron limitadas a la navegación por la falta de su completo conocimiento, pronto los navegantes, por honra nuestra españoles, al descubrir la declinación, presintieron una de sus más importantes aplicaciones actuales, relacionándola con la longitud del lugar.

Sabios compatriotas nuestros de hace cuatro siglos trabajaron con férrea voluntad en la solución del problema de determinar la longitud geográfica de un lugar, deduciéndola de la declinación observada en el mismo para la aguja magnética, pero faltos de elementos teóricos y prácticos, hubieron de desistir de un empeño que, según todas las noticias, ha sido en nuestros días resuelto, permitiendo a los modernos e intrépidos navegantes del aire fijar la posición de sus aéreonaves de noche, a miles de metros sobre la superficie del suelo y sin referencia alguna en éste, utilizando las modernas cartas magnéticas en sentido inverso; es decir, que si ellas se construyeron para poder deducir las coordenadas magnéticas de un lugar conocido, en fecha determinada, podrán servir para deducir el lugar, conocidas aquellas en un momento dado. Y he aquí una aplicación que demostrando la intuición de un grupo de sabios españoles, puede ser, si no es ya, la solución de uno de los importantes problemas que afectan a la locomoción del porvenir.

La navegación por los mares y grandes lagos tiene como elemento fundamental el conocimiento y uso constante de la brújula, cuya

utilización práctica restringe el desconocimiento de sus variaciones. Y si en la navegación superficial es importante su empleo, se convierte en absolutamente indispensable en la navegación submarina, cuyas aplicaciones, si han sido hasta ahora desdichadamente poco dignas de ser consideradas por nosotros, es de esperar tengan en lo sucesivo verdadera importancia, sobre todo como elemento de investigación y estudio.

Es asimismo utilizada la brújula, como medio de orientación, en las expediciones, viajes de exploración, y todos aquellos en que no se dispone de otros medios de referencia.

Los levantamientos topográficos son hijos de otra aplicación de la aguja imantada, y fundamento de otras grandes aplicaciones de la Ingeniería, tales como utilización de fuerzas hidráulicas, construcción de caminos, canales, pantanos, etc., etc.

Por faltar en España el conocimiento de la declinación en día y lugar determinados se habrán seguramente suscitado inacabables pleitos entre mineros colindantes, a los que el error angular inherente al aparato, puede llevar a invadir ajenas propiedades, o dejar fuera de las propias, elementos utilizables del subsuelo.

Y algo análogo puede decirse en Agronomía para deslinde de propiedades, y, en fin, son tales, tantas e importantes las aplicaciones prácticas de la brújula, que plenamente justifican la necesidad de su estudio y perfecto conocimiento.

Para un futuro no remoto, el estudio de la intensidad, dirección y cambios de fuerza natural semejante, bien se alcanza los elementos que puede aportar a la Humanidad. Ya hoy se relacionan justamente las perturbaciones magnéticas con la aparición y desaparición de manchas solares, cuyo estudio constituye una de las más graves preocupaciones de Astrónomos y Cosmógrafos, por su íntima relación con otros fenómenos terrestres, tales como electricidad atmosférica y sus consecuencias (tan importantes como poco conocidas), acción de los rayos solares, auroras polares, etc.

En Geología, el descubrimiento y localización de masas férreas del subsuelo, el estado de las grandes deformaciones del suelo antiguas y modernas, y la naturaleza de las rocas, y en Metereología las corrientes atmosféricas, las nubes (principalmente los cirrus), las variaciones de presión, temperatura, humedad, etc., tienen también íntima relación con tales variaciones del magnetismo terrestre.

En el terreno de la Ciencia pura fácil es colegir la importancia del estudio del magnetismo, no sólo por su esencia y potencia, sino por sus conexiones conocidas y vislumbradas con otras ciencias cuyo pleno conocimiento tanto afecta a la vida de la Humanidad.

Comprendiéndolo así los sabios de todos los países cultos, consiguieron que sus Gobiernos conviniesen entre sí un estudio universal del magnetismo, su distribución sobre la superficie de la Tierra y su representación cartográfica, y si la gran guerra ha venido a interrumpir momentáneamente este acuerdo científico-diplomático, es de presumir y desear que no habrá podido conseguir que cesen indefinidamente las buenas relaciones entre los pueblos, y mucho menos aquellas que, cual estas de que tratamos, sólo al bien de la Humanidad se encaminan.

No creemos preciso encarecer más la importancia de esta fuerza natural y de su estudio, en el que está incluído el de las variaciones de la aguja magnética (1).

---

(1) En un curioso artículo publicado recientemente en una Revista profesional, se solicitaba del cultísimo y afamado doctor D. José Rodríguez, de La Coruña, publicase sus investigaciones y estudios sobre la relación entre las abundantísimas enfermedades mentales y nerviosas de una pequeña zona de la región gallega, próxima a Finisterre, y las grandes alteraciones, bien observadas por los navegantes, que la aguja magnética sufre en ese lugar, alteraciones comprobadas por un observador del Instituto en estación próxima, en la cual se apreciaron importantes perturbaciones magnéticas.

En reciente conversación de uno de los que suscriben con el doctor Rodríguez, confirmó éste su hipótesis con datos de alto interés para justificar la pretendida relación entre las perturbaciones magnéticas y la patología de los nervios y el cerebro.

II

DATOS HISTÓRICOS

El conocimiento y aplicación de la aguja magnética a la navegación, es antiquísimo, haciéndolo remontar alguien a fecha dos mil años anterior a nuestra Era, si bien de modo rigurosamente histórico no puede afirmarse el empleo de la brújula por los chinos hasta cien años antes de Jesucristo. En Europa no se introdujo hasta mil trescientos años después.

Conocíase solamente por entonces la propiedad de la aguja imantada, colocada en condiciones de girar libremente, de permanecer fija en una dirección, que suponían la del Norte geográfico verdadero.

Cristóbal Colón, al hacer su primer viaje a América, observó con sorpresa la variación, según el lugar, del punto señalado por la aguja, deduciendo la existencia de la declinación magnética, que calculó en seis grados al Noroeste a los cuarenta días de su navegación, y nula en un lugar próximo y al Este de las islas Azores.

Cierto que Hellmann trató de probar que anteriormente al 13 de Septiembre de 1492, se tenía conocimiento de la declinación magnética, pero puede asegurarse que en esa fecha, y por las observaciones de Colón, nació el estudio del magnetismo terrestre. En 1576 descubrió Normac la inclinación magnética, después el P. Guy Tachard, Misionero francés en Siam, la variación diurna, y en 1622, Gellibrand y Junter las variaciones seculares.

Fué España, no sólo la iniciadora de este problema científico, cuya solución puede aportar importantes elementos de vida a la Humanidad, sino uno de los países que por entonces más trabajaron en su estudio. Investigando la relación existente entre la declinación y las

coordenadas geográficas, que, como hemos dicho, ha tenido recientes y utilísimas aplicaciones, Felipe Guillén, Boticario de Sevilla, inventó un instrumento, que, según Humboldt, le da derecho a la inmortalidad, y que no es, en resumen, otra cosa que la brújula de variación, más tarde universalmente adoptada. Alonso de Santa Cruz, Profesor español que se dedicó especialmente a estos estudios, y fué el primero que ideó la cartografía magnética (siglo y medio antes que Halley, que es por muchos considerado como su iniciador), describe así el aparato de Guillén: «Es una tabla redonda, llana, de un xeme de diámetro, echadas por ella cuatro líneas en cruz, y puesto en medio un perpendículo de metal y graduada la tabla a la redonda en 360 grados, comenzando la cuenta de los 180 de la línea meridiana que estaba en dicha tabla, hacia un lado, y los otros 180 de la mencionada línea a la otra parte de la circunferencia de la tabla; y en dicha línea puesta una aguja pequeña como de reloj de sol meridiano, y a esta tabla estaban unidos tres hilos en iguales distancias, a manera de una balanza de peso, para que estuviese igual a la superficie de la Tierra.»

Fernán Pérez de Oliva se encargó de explicar en la célebre Universidad de Salamanca una Cátedra de Luz y Magnetismo. Martín Cortés da a conocer el aumento de los intervalos entre paralelos, descubrimiento atribuído a Wright, aunque este mismo confiesa haberlo tomado del ilustre aragonés, que en 1545 admite la existencia de un polo magnético distinto del terrestre, explicando así la declinación, aunque también esta hipótesis es atribuída a Livio Sanuto, a pesar de que no la expone hasta cuarenta y tres años después. Pedro de Siria escribe el *Arte de la Navegación*, admitiendo también la existencia de un polo magnético que (a diferencia de Cortés que lo situaba en Groenlandia) supone más alto y a cinco grados de distancia del terrestre; Antonio Osorio inventa la manera de aumentar el poder de los imanes; Rodrigo Corcuera, una nueva brújula, y Juan de Herrera, el Arquitecto que en El Escorial dejó traza indeleble de su genio, idea un aparato para medir la declinación. Rodrigo Zamorano, escribe una Cosmografía y el Rey Felipe II instituye un premio para el que descubra la relación entre la declinación y las coordenadas geográficas, ejemplo que más tarde siguen otras naciones, percatadas de la importancia del descubrimiento que se persigue.

Otros sabios e investigadores extranjeros se aplican también a

los estudios magnéticos, y así Sebastián Cabot trabaja, como los españoles de su época, para deducir la posibilidad de utilizar los cambios de declinación de un lugar a otro para la determinación de longitudes, y Antonio Pigafetta, acompañante de Magalhães en su primer viaje alrededor del mundo, propone en su *Náutica*, publicada en 1522, este método de determinar la situación geográfica.

Guillermo Gilbert idea la hipótesis de que la Tierra es un enorme imán, y Muschenbrock, en 1629, da a conocer sus estudios sobre las variaciones de la aguja, que Graham en 1722, y posteriomente Esconnier, en 1776, continúan con Naussure, Bordá, Hausteen (que en 1787 hace públicas sus hipótesis sobre magnetismo) y Churchman, que poco después explica su teoría de los polos múltiples, que Borlow confirma.

Humboldt, Cassini y Arago se hacen famosos por sus estudios sobre magnetismo; Verstad y Ampère se aplican al conocimiento de esta fuerza sobre la que explayan ingeniosas teorías, y Gauss funda el *Magnetoerein*, en el que se agrupan los sabios para trabajar e investigar, metodizando las observaciones y perfeccionando los aparatos, y de entonces al comienzo de la gran guerra el magnetismo adquiere cada día más importancia, y a su estudio se aplican muchos sabios, con la protección de sus Gobiernos, que no dudan en gastar grandes sumas montando Observatorios permanentes, levantando mapas magnéticos, subvencionando grandes expediciones científicas terrestres y marítimas, y haciendo toda clase de estudios para llegar al perfecto conocimiento de esta fuerza y sus aplicaciones.

Actualmente estos estudios, que en sus comienzos estaban circunscriptos a los profesionales de la navegación, interesan por igual a todo el mundo científico, y todos los países civilizados tenían terminados sus mapas magnéticos con anterioridad a la época en que comenzó España sus trabajos, y no habían limitado éstos a las respectivas metrópolis, sino que los extendieron hasta las colonias, previa instalación en las mismas, en número correspondiente a su extensión superficial, de los Observatorios magnéticos indispensables para recoger las variaciones diaria, secular y anormales del campo magnético terrestre.

Francia cuenta con los Observatorios magnéticos de Parque Saint Maur y de Val-joyeux; Alemania, con los de Postdam, Seddin y Munich; los Estados Unidos de Norte América, no sólo con varios Ob-

servatorios distribuídos por todo su territorio, sino con barcos especialmente construidos para hacer observaciones en el mar, con los cuales actualmente las realizan en ambos Océanos, y para no hacer interminable esta relación, citaremos algunos trabajos efectuados en distintas naciones anteriormente a los nuestros:

PAÍSES	Año en que se publicó el mapa.	Número de estaciones
Holanda..................	1891	328
Islas Británicas...........	1891	677
Suiza.....................	1892	70
Italia.....................	1892	284
Japón.....................	1895	320
Francia...................	1896	617
Austria...................	1900	210
Estados del Sur de Africa.	1903	405
Dinamarca................	1905	170
Estados Unidos...........	1905	3 500
Prusia....................	1910	431

Cartas magnéticas de África publicadas

Líneas de variación magnética en los mares que rodean a África, James Rennell.—Londres, 1799.

África portuguesa (Carta magnética), Capello e Ivens.—Lisboa, 1881.

Observaciones magnéticas en Egipto, H. G. Lyons.—Cairo, 1902.

Mar Rojo. Expedición de S. M. S. «Pola», Carl Rössler.—Viena, 1899.

Declinaciones magnéticas en Mauritius, Thomas Folkes Claston.—Londres, 1899.

África del Sur (405 estaciones), J. C. Beattie.—Londres, 1909.

Nordeste de África, B. F. E. Recling.—Cairo, 1907.

Prusia caminó durante mucho tiempo a la cabeza de estos trabajos, y cuando en 1885 se reorganizó el Instituto Meteorológico Prusiano, se trató de hacer inmediatamente una medición magnética del Reino a base del Observatorio magnético de Postdam, encargándose de proyectarla y dirigirla Max Eschenhagen y Edler, que comenzaron en 1898 las observaciones, terminadas por el Profesor Schmidt, actual Director del Observatorio citado y fundador del de Seddin, por la prematura muerte de ambos. Estos trabajos se publicaron en 1910, bajo forma cartográfica y tabular de los elementos declina-

ción, inclinación e intensidad horizontal, reducidos al principio de 1909, utilizando como carta base una que comprende todo el Norte de Alemania.

Como algunos puntos quedan fuera de Prusia, se llenaron los claros empleando los resultados de las observaciones hechas por Göllnitz por encargo del Gobierno de Sajonia. Al mismo tiempo el Instituto Meteorológico Prusiano negoció con los demás Gobiernos alemanes para que estos hicieran los trabajos necesarios para obtener una carta magnética de toda Alemania, prestando su personal para aquellos Estados que no lo tenían idóneo y utilizando el de Würtemberg los trabajos de Haussman; Baviera los de Meserschmitt, y Sajonia, los del Profesor Göllnitz citado. Llevando a cabo este plan, precedido de los importantes trabajos de Lamont, Alemania ha estado en primer lugar entre las naciones que protegieron estos estudios, hasta que modernamente se quedó atrás de otros países que, como Francia, Inglaterra, Austria Hungría y Norte América, han hecho mediciones magnéticas más completas.

El plan de Eschenhagen era hacer 260 estaciones de primer orden a una distancia de 40 kilómetros una de otra, enlazadas por una medición de segundo orden a 18 kilómetros, o sea una red cinco veces más densa que la anterior, que permitiera descubrir y determinar exactamente las grandes perturbaciones del territorio y, por fin, una última red de tercer orden para investigaciones detalladas y especiales, necesarias para descubrir las últimas anomalías de la distribución local y para investigaciones geológicas, en la que las estaciones se hallan situadas a 10 kilómetros una de otra. Las 260 estaciones de primer orden se observaron en un período de cinco años y, de ellas se escogieron 40, principales y fáciles de encontrar siempre, para utilizarlas posteriormente en nuevas observaciones que, reducidas a una misma época, hiciesen posible y facilitasen el estudio de la variación secular. De éstas fué preciso excluir cuatro a causa de las perturbaciones a que dió lugar la instalación de tranvías eléctricos próximos.

Con estos trabajos se publicaron cuatro cartas; la primera indica la distribución de las estaciones observadas, con su número correspondiente, y las otras tres contienen las líneas isomagnéticas, con expresión de la situación de las estaciones y su número. En la carta de distribución de estaciones se ve que la densidad no es la misma siempre, pues aunque parezca fácil hacer uniforme tal distribución, en la prác-

tica, por huir de sitios lógicamente perturbados (circunstancias geológicas, etc.) por evitar la proximidad de tranvías eléctricos, ferrocarriles, construcciones metálicas, etc., y por la necesidad de economizar tiempo y coste, no hay posibilidad de obtener una completa uniformidad, pero es fácil comprender que el resultado no será muy diferente del correspondiente a la distribución teórica.

III

CARTOGRAFÍA MAGNÉTICA

Uno de los más interesantes puntos del estudio del magnetismo es el que se refiere a su distribución por la superficie de la Tierra, condensado en la representación gráfica, que también facilita toda esta clase de investigaciones. Esta representación es el objeto de la Cartografía magnética.

Como los elementos magnéticos que se estudian y observan están sujetos a continuas variaciones, se comprende que hay que reducir los resultados obtenidos por la observación directa a un mismo momento elegido, que se llama época de la carta, para hacerlos comparables. Así hecho, si se unen por líneas los puntos que tienen del mismo valor sus elementos magnéticos semejantes, obtendremos las curvas *isomagnéticas*, que se dividen en *isogonas* si unen puntos de igual declinación; *isoclinas* si son de la misma inclinación; e *isodinámicas* si los puntos unidos tienen igual intensidad magnética. Trazadas estas curvas sobre un mapa, habremos obtenido la carta magnética de su territorio.

Las alteraciones magnéticas, diurna, secular y anormales, no bien conocidas, hacen indispensable su constante estudio, y de ahí la necesidad, reconocida y aceptada de común acuerdo por las naciones cultas, de reconstruir sus cartas pasado un período de tiempo, que es de veinticinco años por regla general, contados a partir de la terminación de las observaciones hechas para el anterior levantamiento, y sin perjuicio de continuar durante el intervalo la observación de estaciones convenientemente elegidas y llamadas seculares (porque de los múltiples y diversos valores en ellas obtenidos, reducidos a una misma época, se deduce, en efecto, la variación secular del

magnetismo terrestre), así como también debe continuarse la observación en aquellos parajes en que se necesite una investigación más detallada y especial, bien para descubrir las últimas anomalías de la distribución local, bien para estudios geológicos especiales, entre los que es uno de los más importantes y prácticos el señalamiento y localización de yacimientos magnéticos subterráneos, o bien para investigar las perturbaciones producidas por la acción de masa, a lo que se presta admirablemente nuestro país con sus grandes cadenas de montañas.

La Cartografía magnética tiene por obligada base la geográfica, pues sobre cartas geográficas se trazan las curvas isomagnéticas, y de la comparación de éstas con las líneas geográficas (meridianos y paralelos) se obtiene su interpretación. En un principio, este trazado tenía el casi exclusivo objeto de la determinación geográfica de los lugares, valiéndose, como antes dijimos, de los elementos magnéticos, pues se esperaba poder obtener la longitud por medio de la declinación (Colón, Guillén, Santa Cruz y los navegantes españoles de su época, con la oposición de los portugueses, especialmente Joao de Castro, Vicente Rodríguez y Aleixo de Motta) y la latitud por la inclinación (Gilbert fué el primero que dió a conocer esta idea en su obra *De Magnete*, publicada en Londres en 1600), fin que persiguió, sin lograrlo, durante sus tres primeros siglos de existencia, el estudio del magnetismo, por la gran importancia que para la navegación tiene la determinación de las coordenadas geográficas. Ya hemos dicho que recientemente, según todos los indicios y nuestras noticias, en la última guerra, los aviadores utilizaron para orientarse y situarse las cartas magnéticas, resolviendo el problema vislumbrado hace cinco siglos, utilizando los elementos teóricos y prácticos aportados durante ese tiempo al estudio del magnetismo y construcción de cartas magnéticas.

Para ésta se emplean dos sistemas: uno en que las curvas isomagnéticas se obtienen directamente de las observaciones hechas, en tanto que en el otro se trazan siguiendo una teoría matemática que, abarcando en sus fórmulas todas las observaciones existentes, permite conocer los elementos magnéticos de todos los lugares de la carta, aun aquellos en los que no se hicieron observaciones directas. De las varias teorías matemáticas ideadas con este objeto, ninguna ofrece las necesarias garantías de exactitud, ni aún la de Gauss, que

es hasta hoy la más estimada. De aquí la necesidad de trazar las cartas apoyándose en bases empíricas, y la consecuencia de que sean mucho más numerosas las cartas magnéticas trazadas uniendo simplemente los puntos de igual valor de los mismos elementos magnéticos las cuales pueden perfectamente utilizarse para orientación en la navegación por mar, submarina y por el aire, para delimitar exactamente minas y tierras, orientar planos topográficos y otras aplicaciones a la Ingeniería, ademas de suministrar la base necesaria e indispensable para el estudio de toda teoría sobre magnetismo terrestre.

Euler ideó y desarrolló en el año 1757 la primera de las citadas teorías conocida, y Gauss publicó en 1838 la suya, tan famosa y justamente renombrada, que aún se utiliza en algunos estudios magnéticos.

Los primeros indicios de la Cartografía magnética se descubren a principios del siglo xv, en la inscripción en los mapas del valor de la declinación, cuando seguramente el Cartógrafo desconocía sus diferencias según el lugar.

Después del viaje de Colón y del descubrimiento de estas diferencias de declinación, fué Erhart Etzlaub, de Nuremberg, el primer Cartógrafo que en el mapa de un territorio da a conocer la declinación, dibujando un reloj de bolsillo con una aguja marcando la desviación correspondiente.

Dos siglos después, en todas las cartas figuraba el valor de la declinación magnética, y en las portulanos se encuentra gran acopio de estos datos, como asimismo en el libro *Dell arcano dei mare, libri sei* (Florencia, 1646) de Robert Dudley, en los mapas mundi de Mollineaux y en el trabajo de Wright *Certains errors in navigation* (London, 1657), siendo ésta la verdadera iniciación de la cartografía magnética, si bien aún no se había llegado a unir por líneas los lugares de igual declinación.

Es un español, Alonso de Santa Cruz, Cosmógrafo y Piloto mayor, el que en 1533 publica por primera vez una carta del Globo con los valores de la declinación escritos de 15 en 15 grados, y aunque cometió el error de suponer que las líneas de igual declinación coincidían con los meridianos, pronto lo deshizo al conocer las observaciones del portugués João de Castro, en su navegación a las Indias Orientales.

Un siglo después el Jesuíta Athanasius Kircher reune y publica

las observaciones hechas por sus hermanos de religión en las Indias y el Asia del Este (diciendo que con ellos podría trazarse una carta de declinación, lo que él no hace por su coste y por falta de tiempo), y los Padres Boni y Marino, dibujan un mapa del mundo que aparece en 1630 con las líneas de igual declinación, siendo probable que ambos trabajos, sobre todo el de Kircher, muy difundido en aquella época, sirvieron de base a Halley para fundar la cartografía magnética, publicando sus cartas de líneas isógonas en las que no da ninguna explicación científica, quizás por no confesar que la idea de tal representación no era suya, siendo de todas suertes para él la gloria de ser el primero que publicó una carta con las isógonas, o sea, en realidad, la primera carta magnética. Estas cartas de Halley comprendían el Océano Atlántico, y fueron seguramente hechas utilizando el resultado de las observaciones efectuadas por el barco de guerra *Paramore Pink*. Al año siguiente hizo una nueva edición que comprendía toda la Tierra, aunque las líneas isógonas sólo estaban trazadas en los mares, costumbre que persistió hasta que Lambert publicó su carta para 1770 con isógonas por toda la Tierra.

Antes Frezier, en 1713, publica la carta de isógonas de América del Sur; Whiston traza por primera vez las isoclinas del sur de Inglaterra en 1719; Mountaine en 1744, Dodson en 1756 y Wilcke en 1768, publican cartas interesantes, las de este último por comprender las isoclinas del mundo entero. Posteriormente Humboldt, en 1803, traza las primeras isodinámicas, o de igual intensidad; Kratzeustein señala en 1817, por primera vez, los puntos en que se ha hecho observación; Hansteen en 1819 hace una recopilación de todas las cartas magnéticas publicadas, y Duperrey en 1825 hace aparecer el meridiano magnético y las primeras cartas de meridianos y paralelos magnéticos.

Pero todos estos Cartógrafos se limitaron a recoger observaciones aisladas, hasta que en 1835 empiezan las mediciones magnéticas sistemáticas y previamente proyectadas para trazar con ellas cartas magnéticas rigurosamente científicas, confundiendo en una misma persona el Observador y el Cartógrafo.

Desde 1858 los ingleses y desde 1882 los alemanes publican periódicamente mapas magnéticos, y la Asociación inglesa para el progreso de las Ciencias patrocina la construcción de la de Inglaterra, haciendo que cinco Observadores determinen los elementos magné-

ticos de diversos lugares previamente elegidos, observaciones que Sabine aprovecha para publicar el mapa magnético completo, o sea trazando las isógonas, isoclinas e isoclinámicas.

Kreil comienza en 1843 sus trábajos en Bohemia y Austria-Hungría, que continúa Lamont en 1849 encadenando el centro y oeste de Europa, por medio de observaciones en Alemania, Dinamarca, Holanda, Bélgica, Francia, España y Portugal, en expedición científica que duró nueve años, y Tanakadate empieza el levantamiento magnético del Japón, en el que emplea ocho años. Ellos son los primeros que establecen el importantísimo estudio de la variación secular por la repetición de observaciones en el mismo lugar, y Lamont introduce la novedad de trazar las líneas, no de igual valor absoluto sino de igual diferencia con una estación central base, para tratar así de prolongar el plazo de validez de las cartas; pero no tuvo en cuenta el inconveniente de que para ello era preciso suponer que para todo el territorio que comprende la carta es igual la variación secular, lo que no es cierto y motivó el abandono de esta modificación, que, sin embargo, es aplicable a pequeños territorios.

La construcción por Lamont de un teodolito magnético de campaña facilitó y estimuló las mediciones en todo el mundo; así Bache en 1840 empieza sus trabajos en Pensilvania, Lefroy en 1842 en Canadá, Elliot en 1846 en las Indias Orientales y Neumayer en 1858 en Australia. Desde entonces estos trabajos se multiplican, llegando hasta el centro de Africa y los polos, donde se hacen observaciones de esta clase en las expediciones exploradoras, comenzándolas James Clark en la antártica que llevó a cabo.

En 1891 se publica el primer Atlas magnético completo del mundo, que prueba claramente los grandes adelantos hechos en observaciones y cartografía magnética, y hoy son los Estados Unidos los territorios del mundo mejor estudiados.

Cuando se comparan las cartas magnéticas construidas a base de los levantamientos sistemáticos hechos de 1835 a 1890, se observa que las líneas isomagnéticas siguen casi siempre una marcha clara y regular, y que sólo se manifiestan irregularidades en muy pocos territorios (Baviera, levantamiento de Lamont en 1858; Austria, de Kreil en 1862, y algún otro), que denotaban perturbaciones locales. Esta armonía dió lugar a suponer que las perturbaciones observadas eran debidas a faltas cometidas por el Observador, hipótesis que el

IV

TRABAJOS AISLADOS HECHOS EN ESPAÑA

Desde hace muchos años se preocupó el Instituto Geográfico de los estudios del magnetismo en España y de la organización de los trabajos necesarios para efectuarlos, pero hasta el año 1905 no pudieron concretarse estos deseos en la forma y modo que luego diremos. Anteriormente a esta fecha nada se había intentado por ningún Centro científico español para la formación de la carta magnética de España, a pesar de su importancia, que hemos hecho resaltar, y de que casi un siglo antes habían empezado sus trabajos casi todas las naciones cultas.

Algunas de ellas, como Baviera, comisionó al sabio magnetólogo doctor Lamont, Profesor de la Universidad de Luis Maximiliano, muy conocido por sus obras fundamentales sobre magnetismo terrestre, para unir magnéticamente la Europa Occidental con la Central, en expedición científica que efectuó los años 1849 al 1858, haciendo observaciones en España en el año 1857, estacionando en Gerona, Arenys de Mar, Barcelona (Monjuich), Martorell, Tarragona, Zaragoza, Calatayud, Guadalajara, Madrid (Observatorio Astronómico), Tembleque, Albacete, Játiva, Valencia, Cartagena, Almería, Málaga, Granada (Alhambra), San Fernando (Observatorio de la Marina), Sevilla (San Telmo), Santiago, La Coruña, Vigo, Santander, Bilbao, San Sebastián, Logroño, Pamplona y Vitoria, en total 28 estaciones, que citamos por orden cronológico, en todas las cuales observó la declinación e inclinación magnéticas y la intensidad horizontal, reduciendo los valores observados con auxilio de los aparatos de variación del Observatorio de Munich, y publicando en 1858 sus tres cartas magnéticas para 1.º de Enero de 1859, en las que figura una parte de España.

Y más tarde Francia, en 1887, envía en expedición científica al encargado del Servicio magnético en el Observatorio del Parque Saint-Maur, el ilustre Th. Moureaux, que, encargado de publicar las cartas magnéticas del Mediterráneo Occidental, hizo observaciones en Málaga, Algeciras, Tánger, San Fernando, Almería, Cartagena, Alicante, Valencia y Barcelona, comparando antes y después el equipaje magnético construído expresamente para tal expedición por Brunner, con sus aparatos de Saint-Maur, y durante sus trabajos utilizó los Observatorios de Perpignan, Capodimonte (Nápoles) y el de la Marina española de San Fernando (Cádiz), publicando en 1889 los resultados en tres cartas magnéticas en que figura la mitad oriental de nuestra Península.

A pesar de esto, que debiera servirnos de acicate, hasta que en la fecha indicada pudo el Instituto Geográfico hacerse cargo de este importante servicio, estuvo éste abandonado, limitándose los trabajos de investigación a los hechos por la Marina de Guerra, con fines puramente profesionales y de aplicación casi exclusiva a la navegación. Son, sin embargo, estos trabajos muy dignos de tenerse en cuenta, y así diremos que la Comisión Hidrográfica de ellos encargada, vino haciendo hasta 1876 estudios de declinación, utilizando un teodolito magnético Brunner y un procedimiento de investigación lleno de inconvenientes.

En el año 1877 comenzó las observaciones con un nuevo equipaje magnético, que por estar provisto de teodolito astronómico permitía estacionar en cualquier lugar, cosa antes imposible pues había de referirse la meridiana magnética a un vértice geodésico de azimut previamente conocido. Con el nuevo aparato estudió dicha Comisión la declinación e inclinación de la aguja magnética en San Fernando, Carboneras, Águilas, Mazarrón, Cartagena, Torrevieja, Alicante, Benidorm, Denia, Cullera, Valencia, Burriana, Benicasim, Benicarló, San Carlos de la Rápita, Ampolla y Tarragona, citadas por orden cronológico, utilizando para la compensación de los valores obtenidos los datos suministrados por el Observatorio del Infante D. Luis, en Lisboa. Posteriormente hizo observaciones en Tarragona, Sitjes, Badalona, Blanes, Rosas, Pasajes, San Sebastián, Zumaya, Deva, Lequeitio, Bermeo, Villagarcía y La Coruña, publicando en 1895, con los resultados obtenidos en 24 de estas estaciones, unas cartas de declinación de la Península.

La Marina de Guerra hizo también algunos estudios análogos en nuestras colonias ultramarinas, antes del desastre, mereciendo mención especial los efectuados con un teodolito Lamont en los años 1896-97 y 98 en San Juan de Puerto Rico y la isla Caja de Muerto.

En las islas Filipinas, entonces españolas, realizaron los jesuítas, de 1886 en adelante, algunos interesantes trabajos, partiendo del Observatorio que en Manila tenían establecido. El ilustre P. Martín Juan observó declinación, inclinación e intensidad horizontal con un equipaje magnético de viaje Brunner en 13 estaciones de Paraguá, Joló y costas de Mindanao, y el sabio e infatigable P. Ricardo Cirera, actual Director del Observatorio del Ebro, efectuó en 1892 otra serie de observaciones en 11 estaciones, publicándose en 1893 dos cartas magnéticas; la primera, comprendiendo el Archipiélago filipino, llegaba hasta el meridiano y paralelo de Tokío, y la segunda, limitada a aquél.

Estos trabajos aislados, faltos de conexión y de la necesaria unidad, no pudieron servir de base al Instituto Geográfico para su Mapa magnético en ejecución, que exige, para tener verdadero valor científico, una extremada uniformidad de criterio en la observación, cálculo y comparación de los resultados obtenidos.

Francia, en cambio, al empezar los trabajos de su carta magnética pudo utilizar como trabajos preliminares los realizados en 1856; Inglaterra los comenzados por Sabine en 1834 y los contenidos en el Mapa general de Barlow, y Alemania los efectuados en Prusia por Eschenhagen y Edler.

De los trabajos antes reseñados, y de los estudios de magnetismo hechos en España, se ocupan con extensión las siguientes publicaciones, a las que remitimos a cuantos deseen mayores detalles, que los escasos que el tamaño e índole de este trabajo permite compendiar:

J. Lamont: *Untersuchungen über die vichtung und stärke des Erdmagnetismus an verschiedenen puncten des Südwestlichen Europa.*—Munich, 1858.

Th. Moureaux: *Détermination des éléments magnétiques dans le bassin occidental de la Mediterranée.*—París, 1889.

R. Pardo de Figueroa, Capitán de Fragata: *Compensación de las declinaciones magnéticas en la Península Ibérica.*—Madrid, 1895.

perficie, y por esto se comenzó por instalar un solo Observatorio en Francia, en Saint-Maur; en Inglaterra, en Kew; en Austria, en Viena, y en Prusia, en Postdam.

Pero pronto pudo comprobarse el error al observar diferencias en el registro de las variaciones periódicas y no periódicas en menor distancia que la antes señalada, y admitida por Bauer como resultado de una experiencia hecha en los Estados Unidos, siendo la tendencia moderna aproximar lo más posible entre sí y con las de campo, las estaciones base, y por eso todas las naciones antes citadas aumentaron el número de Observatorios. Así los Estados Unidos, por ejemplo, poseen actualmente cinco Observatorios magnéticos en plena actividad, distribuídos en esta forma: Cheltenham, Maryland; Sitka, Alaska; Honolulu, Hawai; Vieques Island, Puerto Rico, y Tucson, Arizona.

Se utilizan también con éxito Observatorios transportables, que se instalan provisionalmente en la zona a estudiar, y trabajan constantemente en ella desde antes de comenzar las observaciones de campo hasta después de terminadas, procedimiento empleado en Württemberg y sur de Alemania, donde se utilizaron variómetros Eschenhagen, previamente comparados y estudiados en Postdam e instalados en Stuttgart y Strasburgo, respectivamente.

Tanakadate, en la última medida que hizo del Japón, a falta de registradores transportables, buscó el período diario por medio de tres mediciones diarias hechas antes, en medio y al terminar el trabajo, tratando así de eliminar los errores de época en la inclinación y componente horizontal, en tanto que para la declinación hacía series largas y continuas de determinaciones para poder trazar la curva de su movimiento. Pero este procedimiento, costosísimo e impracticable en levantamientos de gran extensión, no puede aplicarse cuando son varios los Observadores.

La reducción de observaciones hechas lejos de países cultos ha tropezado, y sigue encontrándose, con la dificultad de falta de estaciones base, y esto, así como la desigual repartición de los Observatorios magnéticos, es un obstáculo grande para la exacta reducción de trabajos hechos en lugares apartados.

En España, repetimos, carecemos del número suficiente de Observatorios, pues en realidad, a los efectos del levantamiento en ejecución por el Instituto Geográfico, sólo el del Ebro, a cargo de los

Padres Jesuítas y dirigido por el sabio y entusiasta P. Ricardo Cirera, es realmente utilizable.

Hasta el año 1901, desde el 1879, funcionó regularmente en el Observatorio Astronómico de Madrid una Sección magnética que, utilizando un teodolito Brunner, hacía observaciones de declinación e inclinación magnéticas; pero aparte de que estos estimables trabajos tenían escasa aplicación como estación base, hubieron de abandonarse cuando la electrificación de los tranvías, de corriente continua y alta tensión, por su proximidad, hizo inútil el lugar de emplazamiento para esta clase de observaciones.

Nuestra Marina de Guerra tiene a su cargo el primer Observatorio magnético instalado en España, que forma parte del de San Fernando (Cádiz), pues si bien su fecha coincide con el comienzo de las observaciones magnéticas en Madrid, antes citada, la instalación de San Fernando es más seria. Existe allí un pabellón independiente, construído expresamente al objeto, sin ninguna substancia magnética, aislado y enterrado, en el que están instalados los magnetógrafos en excelentes condiciones que, por desdicha, ha venido recientemente a perjudicar la instalación de los tranvías eléctricos de Cádiz a San Fernando. En este pabellón se instaló un magnetógrafo Adié, de cilindros registradores movidos por aparato de relojería. La planta del pabellón es un octógono, en cuyo centro hay un pilar en el que están colocados los cilindros registradores con sus relojes. En otros tres pilares se colocan los magnetógrafos de declinación, fuerza horizontal y fuerza vertical que, por medio de anteojos y escalas colocados convenientemente en otros dos pilares, pueden ser observados directamente por reflexión.

Además de estas medidas constantes de variación se hacen otras medidas absolutas, utilizando un magnetómetro Elliot y un teodolito magnético de inclinación de Dover. Los resultados de estas observaciones se publican en los *Anales* que edita el Observatorio de San Fernando.

El Observatorio que en la actualidad se utiliza como base para el levantamiento magnético de España, repetimos, es el del Ebro, cuya Sección magnética está clasificada como de primera clase por el doctor Karl Schering, de Darmstadt, y colocado entre los 26 más completos. Su situación es muy excéntrica con respecto a España, pero inmejorable en el aspecto de estar alejado de posibles perturbaciones

engendradas por corrientes eléctricas, masas férreas y formaciones geológicas, en él se registran fotográficamente los tres elementos magnéticos, además de hacerse determinaciones de absolutas con la frecuencia necesaria, publicándose anualmente los resultados obtenidos. Consta de dos pabellones emplazados y construídos expresamente al objeto, uno en el que se hacen las medidas de absolutas con un magnetómetro unifilar Dover, un inductor terrestre Schulze y un galvanómetro Plath. El segundo pabellón, destinado al estudio de las variaciones, enterrado y aislado convenientemente, está próximo al anterior, y en él se albergan, en dos salas, dos series de aparatos Mascart, construídos por Mailhat, compuestas: la primera, de unifilar, bifilar y balanza, con disposición para observar, por medio de anteojos convenientemente colocados, los más insignificantes movimientos de los imanes, y la segunda serie sirve para registrar fotográficamente estos mismos movimientos en un cilindro provisto de su correspondiente movimiento de relojería. Se obtienen así constantemente fotografías de las curvas de variación correspondientes a la declinación, inclinación y componente horizontal de la fuerza magnética, además de las observaciones directas que se hacen varias veces al día y de las determinaciones de absolutas que se repiten cada diez días.

El Instituto Geográfico, comprendiendo la necesidad de aumentar el número de Observatorios magnéticos y de situar uno en el centro de la Península por las razones antes apuntadas, ha proyectado establecer el de Alcalá de Henares, situación inmejorable, lejos de toda influencia eléctrica, geológica y de masa.

El Ayuntamiento de aquella población se apresuró a adquirir el terreno elegido y ponerlo a disposición del Ministerio de Instrucción pública, y en los últimos proyectos de Presupuestos, que desgraciadamente no han llegado a ser aprobados unos y ni siquiera discutidos otros, figuraba una importante partida para la construcción del edificio, que habría de completarse con otra para adquisición y estudio de aparatos, después de un concienzudo examen de los que deben instalarse y de estudiar detenidamente por los Ingenieros que a este fin se comisionen los modernos Observatorios, y especialmente los de Norte América, nación que hoy tiene los más perfectos y poderosos elementos de trabajo e investigación en esta esfera de la Ciencia. Es de esperar que por fin sea aprobado este gasto y en

fecha próxima podamos contar con este nuevo Observatorio, en el que además se instalaría una Sección de Metrología de precisión, que es otra de las necesidades sentidas por el Instituto (que actualmente cuenta con un solo comparador bien elemental), y por todos los establecimientos científicos y particulares que tienen necesidad de usar medidas perfectamente comprobadas y contrastadas.

VI

PROYECTO DE MAPA MAGNÉTICO DE ESPAÑA POR EL INSTITUTO GEOGRÁFICO

Como hemos indicado, para el levantamiento de una carta magnética son precisas dos clases de observaciones: las determinaciones de los valores absolutos de la declinación, inclinación e intensidad en un número de estaciones proporcionadas a la extensión, forma y accidentes topográficos y geológicos del territorio que se trata de representar y convenientemente repartidas por el mismo, y las que constantemente deben llevarse a cabo en los Observatorios tomados como base para conocer las variaciones de todas clases ocurridas en tanto que las anteriores de campo se efectúan; pues estos datos habrán de servir para comparar y relacionar aquéllas entre sí.

En el capítulo anterior nos hemos ocupado de los Observatorios magnéticos que existen en España, haciendo una ligera descripción del de el Ebro, único utilizable, e indicando la necesidad, que más adelante demostraremos existe, de construir cuanto antes el proyectado en Alcalá de Henares a cargo del Estado y regido por el Instituto Geográfico, y establecer después, tan pronto sea posible, otros dos en el sur y nordeste de España, completando así la red.

En estos Observatorios se hacen, como indicamos, tres clases de observaciones, a saber: las que segundo por segundo registran gráficamente las variaciones normales y anormales de la declinación, inclinación y componente horizontal magnéticas, por medio de aparatos automáticos apropiados; las que como comprobación de éstas se hacen varias veces al día, por lectura directa, en otro grupo gemelo de aparatos para ello dispuestos en forma análoga y en el mismo lugar que los anteriores, y las determinaciones de absolutas de esas

las coordenadas de los demás puntos precisos se podían trazar las líneas isomagnéticas de las cartas, que así tenían un paralelismo y regularidad poco en armonía con la verdad, y si mostraban algunas anomalías se hacían desaparecer por medio de compensaciones en el cálculo, criterio que se sustentó durante mucho tiempo.

Según la teoría del potencial del magnetismo terrestre, de Gauss, para obtener una suficiente armonía en el trazado de las líneas isomagnéticas sobre la carta del Mundo, bastaba con 84 observaciones hechas en siete distintas latitudes, que determinaban los 24 coeficientes necesarios para el cálculo. Parecía existir una aparente conformidad entre la teoría y la práctica, que contribuía a afirmar la hipótesis de la regularidad de la distribución del magnetismo sobre la superficie de la Tierra, y por ende la de su representación gráfica.

La realidad demostró pronto el error e ineficacia de estos supuestos.

Al comenzar los levantamientos sistemáticos para pequeñas extensiones, se acentuaron las irregularidades en las curvas isomagnéticas, y al estudiarlas se vino en conocimiento de su origen natural, deduciendo la necesidad de multiplicar el número de observaciones para poder trazar las curvas de modo que correspondan a la realidad. Si se comparan dos cartas magnéticas del mismo territorio, una antigua y otra moderna, es como mejor puede apreciarse el adelanto obtenido multiplicando el número de observaciones; así, por ejemplo, de Francia hizo Lamont (1856-57) una carta sobre 44 estaciones; Ferry (1868-69), trazó otra sobre 53; Davy (1875), otra sobre 20, y Moureaux dos, la primera (1884-85) sobre 80, y la segunda (1888-95) sobre 617, y en tanto que las de los tres primeros investigadores muestran unas líneas perfectamente limpias, la primera de Moureaux patentiza una pequeña irregularidad en la Bretaña, que se acentúa y complica con otra en la segunda para 1895, dando lugar a los actuales estudios de localización.

El mismo resultado se obtiene comparando las cartas antiguas hechas con un corto número de observaciones de campo y las modernas, en que se han multiplicado grandemente, de otros países como Inglaterra, pero donde la diferencia es más apreciable es en los Estados Unidos, estudiando la carta de Hilgard, de curvas irreprochablemente regulares; la de Schottschen (1885), con 2 359 estaciones antiguas y modernas, que empieza a señalar las grandes perturbacio-

nes que las compensaciones de cálculo tienden a regularizar, y la del mismo para 1900, con 3 591 estaciones trazada por los modernos procedimientos, en la que ya se muestran claras las irregularidades, que comprueba y estudia mejor Bauer en su última carta para 1905.

Para juzgar de la exactitud de una carta, se tiene hoy primeramente en cuenta la densidad de las medidas hechas, si bien no es este el único elemento de juicio. En un país donde no son de temer grandes perturbaciones, o el número de las pequeñas es insignificante, puede disminuirse el número de observaciones, llegando a hacer una por cada 1 500 kilómetros cuadrados de superficie como máximo. En España, donde racionalmente se encontrarán algunas grandes perturbaciones y crecido número de ellas menos importantes a juzgar por la configuración topográfica y la constitución geológica, se necesitan, naturalmente, para el trazado de su carta, gran número de observaciones de campo, que obligan a adoptar como límite máximo el de 1 000 kilómetros cuadrados de superficie por estación, que es próximamente el aceptado.

Como el aumentar el número de estaciones observadas complica la representación gráfica de la fuerza estudiada, Nuemayer propuso en el Congreso Geográfico de Viena dividir los levantamientos magnéticos en partes y hacerlos sucesivamente, opinión que fué en parte aceptada, decidiendo las más de las naciones repetir periódicamente sus levantamientos, siendo hasta ahora el plazo generalmente aceptado para ello el de veinticinco años.

Al proyectar una carta debe tenerse en cuenta no sólo lo que a la extensión del territorio que se va a estudiar se refiere, sino la unión del mismo con los que le rodean, y al modo que para los levantamientos topográficos se cubre el terreno de una red de triángulos trigonométricos que unen con los de los países vecinos, en los magnéticos debe cubrirse de estaciones a observar teniendo en cuenta igual unión.

La distribución de las estaciones de campo y la elección del lugar donde se sitúan viene limitada por la distancia entre ellas fijada, si bien se comprende la imposibilidad de hacerla absolutamente uniforme por la necesidad de buscar sitios de fácil y económico acceso para ahorrar tiempo y dinero, huyendo de aquellos en que se pueda suponer la existencia de causas de perturbación, tales como tranvías y conducciones eléctricas de corriente continua, ferrocarriles, fábri-

cas, edificios y construcciones metálicas, minas de hierro, y particularmente, sobre todo, ciertas formaciones geológicas que ejercen tan gran influencia sobre la aguja, que producen verdadera alarma al Observador que desconoce su existencia, obligándole hasta a rechazar el resultado de la observación o a repetir ésta, y de ahí la conveniencia de conocer lo mejor posible la constitución del terreno en que se va a operar. Así los de origen eruptivo, que en la parte occidental de nuestra Península abundan, formados de rocas hipogénicas y las dioritas, pórfidos, sienitas, etc., entre las hipogénicas antiguas; las ofitas y basaltos de las modernas que constituyen parte de los terrenos ígneos primitivos, los gneis y talquitas del estrato cristalino, algunos silicatos, la pirita magnética y el cobalto, níquel y manganeso, por sí los unos, y los otros por las cantidades de hierro magnético que suelen contener, producen desviaciones en la aguja cuyo conocimiento interesa para la investigación geológica que de ellas se deduce al ver las anormalidades e inexplicables diferencias entre los valores obtenidos para varias estaciones próximas, pero que deben desecharse, estudiados debidamente, para los efectos de su introducción en la construcción de la carta magnética.

De esto se deduce no sólo, repetimos, la imposibilidad de una repartición absolutamente uniforme, sino la necesidad de dejar al juicio y práctica del Observador, dentro de los límites racionales, la libertad de escoger y variar el punto de emplazamiento de sus aparatos, con arreglo a las circunstancias de lugar y momento.

De todos modos está plenamente comprobado por la práctica, que estas pequeñas variaciones de la distribución teórica, no afectan al resultado total si el número de estaciones es suficientemente denso.

Fué el Instituto Geográfico el primer establecimiento científico español que se preocupó de la formación de una carta magnética de España y tan pronto como le fué posible, por la aprobación de su nuevo Reglamento por Real decreto de 8 de Julio de 1904, comisionó a los cultos y laboriosos Ingenieros Geógrafos D. Luis Cubillo y don Aurelio Capilla, para que propusiesen un plan para la formación del Mapa especial magnético de España, e indicasen el material, personal y procedimientos más adecuados para el objeto. En luminosa e interesante Memoria, de la que se entresacan datos importantes para la redacción de la presente, dieron estos señores cuenta del resulta-

do de sus estudios, que fueron fundamento de cuantos después se hicieron.

Y aquí es de rigor y justicia dedicar un recuerdo al sabio y malogrado Ingeniero Geógrafo D. Eduardo Mier y Miura, a cuya iniciativa y tesón se debe principalmente cuanto sobre esto se ha hecho; iniciativa que, como otras muchas de igual trascendencia, fué aceptada y patrocinada por los Directores generales que las recibieron del eminente Inspector general citado, cuyo paso por el Instituto Geográfico ha dejado tan imborrable huella, que su nombre irá siempre unido a cuantas satisfacciones y aplausos merezca la intensa, extensa y concienzuda labor que este Centro ha producido y produce.

El plan propuesto por los señores Cubillo y Capilla en dicha Memoria, lo condensan en el siguiente resumen que de ella copiamos:

«El Mapa magnético de España deberá comprender las diversas cartas generales de isógonas, isoclinas, isodinámicas y meridianos más usuales y las especiales que se consideren necesarias.

»El sistema de proyección que conviene emplear para la representación geográfica de la Península Ibérica es el de Tissot.

»El número de estaciones magnéticas de que el Mapa debe constar es próximamente de 500, repartidas por todo el territorio con la mayor uniformidad posible y distanciadas, por término medio, unos 35 kilómetros, para que a cada estación correspondan unos 1100 kilómetros cuadrados de la superficie total de España. Este número de estaciones es susceptible de alteración, según la importancia que al trabajo quiera concederse y la naturaleza y condiciones del terreno en que se haya de operar.

»Para la elección de estaciones habrá de tenerse muy presente la constitución geológica, huyendo de los terrenos primitivos, el aislamiento y la facilidad de comunicaciones y transportes.»

Esta densidad de estaciones está muy en armonía con la adoptada por Inglaterra, Francia, Bélgica y Holanda, y es inferior a la de Alemania, Austria y muy especialmente a la de los Estados Unidos, que es hoy la nación mejor estudiada.

Posteriormente, cuatro Ingenieros Geógrafos, D. Alfonso de Cisneros, D. Ignacio Fort y los que suscriben, fueron comisionados para estudiar en las naciones más cultas de Europa los procedimientos empleados en la formación de sus cartas magnéticas y proponer, en consecuencia, el que debiera seguirse en España; y des-

pués de un viaje de exploración fué adoptado el método prusiano del Profesor Max Eschenhagen, del que también se adoptaron los equipajes magnéticos de viaje construídos (con arreglo a los planos por él trazados y al modelo anteriormente fabricado por Tesdorpf, de Stuttgart) por la Casa F. Sartorius, de Gottinge, que acababa de adquirir la patente. Se tomó esta decisión tras maduro examen y vistos los excelentes resultados obtenidos en toda Alemania, en la expedición Sud-polar alemana y en Norte América, que por entonces los empleaba.

Decidido en 1910 el Instituto Geográfico a llevar a cabo la construcción del Mapa magnético de España, fué encargada a la Casa Sartorius la fabricación de dos equipajes de los adoptados para el levantamiento del Mapa magnético de España, que son los que actualmente se emplean en los trabajos de campo, y se comisionó a los Ingenieros D. Ignacio Fort y Rodrigo Gil, que suscribe esta Memoria, para ir al Observatorio magnético de Postdam y hacer un estudio minucioso de los mismos y la determinación de sus constantes y coeficientes.

En consecuencia, en el mes de Junio del mismo año, marcharon a Potsdam los dos Ingenieros citados, y allí trabajaron infatigablemente durante cuatro meses, tiempo mucho menor del que para la misma labor allí habían empleado Ingenieros de otras naciones, al cabo de los cuales la determinación de coeficientes estaba terminada, habiendo sido modificados los aparatos con arreglo a sus indicaciones y siguiendo las instrucciones del ilustre Profesor Schmidt. A principios de Octubre de 1911 regresaron a España, trayendo consigo los equipajes magnéticos listos para dar comienzo a las observaciones.

Durante los primeros meses de 1912, estuvieron dedicados a la redacción de una amplia Memoria en que se daba cuenta a la Superioridad de toda su gestión en Potsdam, con expresión de los resultados obtenidos en la determinación de los coeficientes. En esa Memoria, que está compendiada y comprendida en la presente, se hacía también una minuciosa descripción de los aparatos adquiridos, consignándose las instrucciones para el trabajo de campo en las estaciones magnéticas y métodos de cálculo, así como las reglas para la determinación de constantes en el Observatorio.

Adoptado, como hemos dicho, el método Eschenhagen, Fort y Gil propusieron la misma densidad proximamente que anteriormente

Cubillo y Capilla, ya que en Prusia, y con arreglo al proyecto del malogrado magneticista, se hizo una primera red con estaciones espaciadas a 40 kilómetros, y si bien es verdad que allí se proyectaba una de segundo orden cinco veces más densa, también lo es que las circunstancias especiales de España no aconsejaban por el momento dar al proyecto mayor amplitud, tanto más cuanto que la constitución geológica y la configuración orográfica de nuestro país, eminentemente montañoso, habrán de exigir estudios especiales muy densos, circundando las masas magnéticas que yacen en su subsuelo y las cadenas de montañas que atraviesan su suelo, y, por otra parte, el estudio de variación secular también habrá de exigir una permanencia en las observaciones, que permitirá sostener un personal idóneo para aumentar en su caso el número de ellas y educar al que haya de sustituirlo para la repetición, en su día, del levantamiento.

Así, pues, se adoptó el espaciamiento de 35 kilómetros, y con arreglo a él se ha venido trabajando, si bien la rémora de nuestra anquilosada administración opuso dificultades al plan reiteradamente propuesto y racionalmente adoptado, y consiguió, escatimando recursos económicos, que este plan, que debería terminarse en siete años (contando uno dedicado a la variación secular, en el que se repitieron las estaciones de Lamont y Moureaux), no se haya llevado con la velocidad prevista, y esté hoy a menos de la mitad de su ejecución, si bien dentro del plazo máximo admisible.

Al mismo tiempo que las observaciones de nuevas estaciones, se hacen repeticiones en ocho ya primeramente observadas, número que deberá triplicarse, en cuanto sea posible, para hacer así anualmente estudios de variación secular.

En cada campaña deberán hacer observaciones en la misma fecha, hora y estación, los dos Observadores, cada uno con su equipaje respectivo, para deducir las consecuencias naturales de la comparación de los resultados, siendo una de las más interesantes el estudio de la ecuación personal. Además, e indispensablemente al comienzo y final de cada campaña, se determinan las constantes de los aparatos en el Observatorio del Ebro (Tortosa), tomado como base, y sería conveniente utilizar también a este objeto, alguna vez, el que Portugal tiene establecido en Coimbra, qué por su posición podría ser muy útil para combinarlo con el citado y con el proyectado en Alcalá de Henares a la par que serviría para unir en su día con la nación vecina, y a

Conviene mucho tener presente la necesidad de comparar constantemente los equipajes de viaje con los magistrales del Observatorio base (para la unión con los países vecinos, esta comparación debe hacerse con los de sus Observatorios), determinando así, por comparaciones repetidas, las diferencias que existan, cuyo valor medio es precisamente el error medio de las medidas de campo.

El conocimiento de las coordenadas geográficas de cada estación es preciso tenerlo con suficiente exactitud, escogiendo poblaciones o lugares para estacionar en los que previamente se hayan determinado, y si no hay número suficiente y conveniente, deben hacerse en el campo por el mismo Observador estas determinaciones que permitan conocer exactamente la situación del lugar de observación, para poderlo trasladar a la carta geográfica tomada como base.

Terminados los períodos de observación y cálculo se estudiarán y compararán debidamente sus resultados para deducir qué valores son aceptables y cuáles deben ser comprobados, y en su caso desechados, labor ésta que en muchos casos puede adelantarse por la simple inspección de los resultados obtenidos en cada campaña.

Las estaciones cuyos valores son anormales se estudiarán nuevamente, llegando hasta a repetir totalmente los trabajos y examinando, si los resultados coinciden, las causas de error ajenas y exteriores, para desechar aquéllas o darles en la carta su debido valor.

Seleccionados así estos resultados y adoptada la carta geográfica base de la magnética (probablemente el Mapa del Instituto Geográfico para el que se ha adoptado la proyección Tissot), se situarán cuidadosamente en ella, por medio de sus coordenadas geográficas, los puntos en que se ha observado, con expresión de los elementos magnéticos en ellos medidos, trazando las curvas por los medios gráficos corrientes.

La distancia entre ellas, excepto en estudios especiales de territorios perturbados, no suele ser menor de diez minutos para la declinación e inclinación. Para la intensidad horizontal se emplean las medidas siguientes:

C. G. S., sistema métrico decimal.
G. E. Unidad de Gauss.
E. E. Medida inglesa.

Siendo estas abreviaturas las empleadas para su designación y debiendo hacerse constar en la carta la unidad adoptada. La equivalencia entre ellas es:

1. C. G. S. = 10 G. E. = 21,688 E. E. = 2 912 medidas de Humboldt.

Esta unidad, que fué de las primeras absolutas que se emplearon, es la intensidad de la fuerza magnética terrestre medida en el ecuador magnético por Humboldt en el Perú, y empleada por él en sus cartas de isodinámicas. Hanstean empleó en las suyas la medida inglesa de la misma intensidad en Londres.

Antiguamente se empleó una medida arbitraria relativa, que en las cartas se denomina con la abreviatura W. E., hasta que en 1833 se dió a conocer el método de medir la fuerza magnética terrestre en unidades absolutas.

Generalmente las cartas se publican aislando cada elemento magnético; es decir, se publican tres cartas de cada territorio: una para las isógonas, otra para las isoclinas y otra para las isodinámicas; debiendo además acompañarse la carta geográfica base con expresión de su escala, de la situación de los puntos de observación y del resultado de ésta, utilizándose las abreviaturas D., I., F., para expresar la declinación, inclinación y componente horizontal de la intensidad, seguidas de un paréntesis encerrando el número que expresa la equidistancia entre las curvas para las dos primeras, y para la intensidad, además, la unidad de medida adoptada, que en España es la cienmilésima de dina, designada, según notación generalmente adoptada, por la letra γ.

Para las reducciones de las cartas magnéticas debe emplearse el sistema fotográfico, para evitar en lo posible las deformaciones.

Es un poco aventurado decir, *a priori*, que para el trazado de nuestra carta adoptaremos el sistema gráfico en vez del analítico, pues ello habrá de depender del número de observaciones efectuadas y de su valor y peso; pero sí se puede afirmar que aquél es el trazado ideal para las cartas de hoy, por estar fundamentado en una densa serie de observaciones cuidadosamente comparadas y seleccionadas, en territorio como el nuestro de pequeña extensión y geográficamente bien conocido, resultando por tanto una exacta reproducción experimental de la distribución e intensidad de la fuerza magnética terrestre, en tanto que el método analítico, empleado en las zonas insuficientemente observadas y conocidas, tiene que acudir

a fórmulas más o menos empíricas, basadas en teorías más o menos racionales, pero siempre menos rigurosamente válidas que la realidad misma, sobre todo tratándose de un estudio que está en sus albores y busca el conocimiento perfecto de una fuerza cuya esencia y capacidad son imperfectamente conocidas.

De la atención que nuestros Gobiernos presten a este estudio, y de los recursos con que sea dotado, dependerá principalmente el sistema que en su día se adopte.

VII

DESCRIPCIÓN DE LOS APARATOS EMPLEADOS

Los sucesivos perfeccionamientos conseguidos en los aparatos empleados han permitido, a su vez, perfeccionar los procedimientos de observación, y sobre todo, dando mayor posibilidad de movimiento, el que las estaciones de campo se multipliquen y pueda así llegarse al completo conocimiento de la fuerza magnética terrestre y su distribución.

De dos órdenes son los aparatos necesarios, correspondiendo a las dos clases de observaciones precisas para la determinación buscada: los fijos de Observatorio y los móviles de campo.

Ya se ha elegido, salvo el estudio magnético que de él habrá de hacerse, el emplazamiento del Observatorio Central que proyecta construir el Instituto Geográfico, que, como hemos dicho, habrá de instalarse en el término de Alcalá de Henares, al Noroeste y como a dos kilómetros de su estación del ferrocarril, lejos de toda acción perturbadora probable, en formación geológica apropiada de terreno cuaternario, dejando al Norte, y bastante alejados, los estratos cristalinos y manchas de terrenos ígneos que digimos debían evitarse; en clima dulce, sin temperaturas ni humedad extremadas, con fácil comunicación telegráfica, relativamente próximo a los Observatorios Astronómico y Central Meteorológico con los que ha de estar en constante e íntimo contacto, y en sitio que permite facilidades de vida a los Observadores.

Se proyecta construirlo con amplitud suficiente para permitir las observaciones y evitar mutuas influencias entre los aparatos, eliminando todo material que pueda tener propiedades magnéticas, y con dos pabellones: uno destinado a las observaciones de variación, en el

que sobre pilares cuidadosamente fundados, y tratando de que el piso esté convenientemente aislado para evitar toda influencia de las trepidaciones exteriores a los mismos aparatos, se montarán los registradores, e inmediatos otros de lectura directa para su comprobación; el otro pabellón se situará en lugar próximo y a unos 15 metros, próximamente, del anterior, y se utilizará para la determinación de los valores absolutos por medio de aparatos análogos a los de campo, que luego describimos, pero de mayor precisión, que permite su mayor estabilidad.

Todavía no está decidido el número y clase de los aparatos que han de adquirirse, y ello no se hará, lógicamente, sin estudiar previa y concienzudamente todos los tipos en uso en los principales Observatorios del mundo.

La disposición del Observatorio del Ebro, que hoy se utiliza como base para el levantamiento de nuestra Carta, es en planta, tal como indica el croquis adjunto (véase la lámina) para la instalación de los variómetros. Consta, como se ve, de dos salas contiguas, que están alojadas en el subsuelo, con dobles paredes que evitan la humedad, que además se combate encerrando los aparatos en cajas de cristal herméticamente cerradas y en cuyo interior se coloca cloruro de calcio. Sobre aquellas y con la misma planta, se ha construído un pabellón cuyo suelo tiene 25 centímetros de espesor relleno de serrín. Su techo es doble y relleno el espacio intermedio de paja de arroz, y son también dobles puertas y ventanas, con cuya disposición se obtiene una temperatura constante en las salas de aparatos.

Son éstos del tipo Mascart (véase la lámina), construídos por Mailhat, unifilar y bifilar para las variaciones de declinación y componente horizontal, y la balanza para la componente, vertical. Las dos series son exactamente iguales, y en una se hace la lectura directa por medio de escalas y anteojos, y en la otra se imprimen las tres curvas en un aparato registrador fotográfico que permite, empleando el método de reflexión de Kelvin, la impresión, en una sola hoja movida por aparato de relojería y por medio de una sola lámpara, de las tres curvas, sobre las que automáticamente quedan señaladas por trazos las horas, habiéndose calculado la distancia entre los aparatos y el registrador en forma de que a un milímetro de ordenada, corresponde un minuto de variación en el declinómetro, cinco grados en el bifilar y seis en la balanza.

OBSERVATORIO MAGNÉTICO DEL EBRO

INDUCTOR TERRESTRE SCHULZE
PARA DETERMINACIONES ABSOLUTAS DE LA INCLINACIÓN

A unos 13 metros de este pabellón y en el mismo campo magnético, se halla el de medidas absolutas, construído de madera, de 5,40 por 2,90 metros de superficie, con dos pilares de piedra para montar los aparatos y seis grandes ventanales repartidos en sus cuatro fachadas.

Para las observaciones de declinación y componente horizontal se emplea un magnetómetro unifilar Dover (véase la lamina), construído en Londres, modelo perfeccionado del Observatorio de Kew, en el que se ha hecho la comparación y determinación de sus constantes, aparato que tambien puede utilizarse en las medidas relativas de la componente horizontal, adicionándole un carrillo montado sobre una regla horizontal y un estribo para la colocación de la barra magnética.

Este aparato, que ha dado excelentes resultados por lo bien estudiado de su construcción, tiene una apreciación de 20 segundos en el limbo azimutal, pudiendo llegarse hasta el segundo por medio de retículo graduado. Es de gran estabilidad, algo pesado y voluminoso, y carece de disposición para observaciones astronómicas, pues no tiene círculo zenital, siendo preciso recurrir para ellas al empleo de un prisma y de un teodolito astronómico independiente. Hay que instalarlo con gran cuidado, y la operación de colocar horizontal el limbo azimutal es muy delicada, exigiendo, a más de la mira situada en el meridiano geográfico del pilar, la instalación de otra permanente y bastante alejada.

Para la determinación de la inclinación se emplean en los Observatorios los aparatos de inducción ideados por Wild, que son más precisos que los de campo, en los que se observa directamente la aguja imantada. En el del Ebro se utiliza uno de Schulze (véase la lámina) y un galvanómetro Plats, contruídos y comparados en Postdam. Al moverse el circuito en el campo magnético terrestre, da origen a una corriente inducida, cuya intensidad, que acusa el galvanómetro, es proporcional a la variación del flujo de fuerza que aquel abarca. Imprimiendo al eje de la bovina movimiento en su plano vertical, llega a conseguirse anular la corriente inducida, en cuyo momento la inclinación magnética viene dada por la de dicho eje leída en el círculo vertical del aparato, puesto que entonces el carrete corta normalmente las líneas de fuerza del campo magnético terrestre.

Las observaciones en el campo son las mismas, aunque necesa-

riamente más ligeras y menos precisas que las determinaciones de absolutas de Observatorio, de que acabamos de ocuparnos. Para aquéllas se emplean aparatos de viaje, de fácil transporte e instalación, circunstancia que estiman en mucho los franceses, en tanto que los ingleses, despreocupándose de ello, utilizan en el campo los mismos aparatos que en Kew. Los demás países, y entre ellos nosotros, adoptan un sistema ecléctico sustituyendo la precisión con la densidad de observaciones.

Entre los modelos de aparatos para determinación de los elementos magnéticos figura el teodolito magnético Brunner (véase la lámina), construído por la Casa Chasselon, de París, que puede utilizarse para determinaciones astronómicas y magnéticas, apreciando minutos, aunque no tiene nonius verticales, ni microscopios en los horizontales. Es de fácil transporte, pero de poca precisión y difícil manejo, por su poca estabilidad y deficiente sistema de suspensión de la aguja.

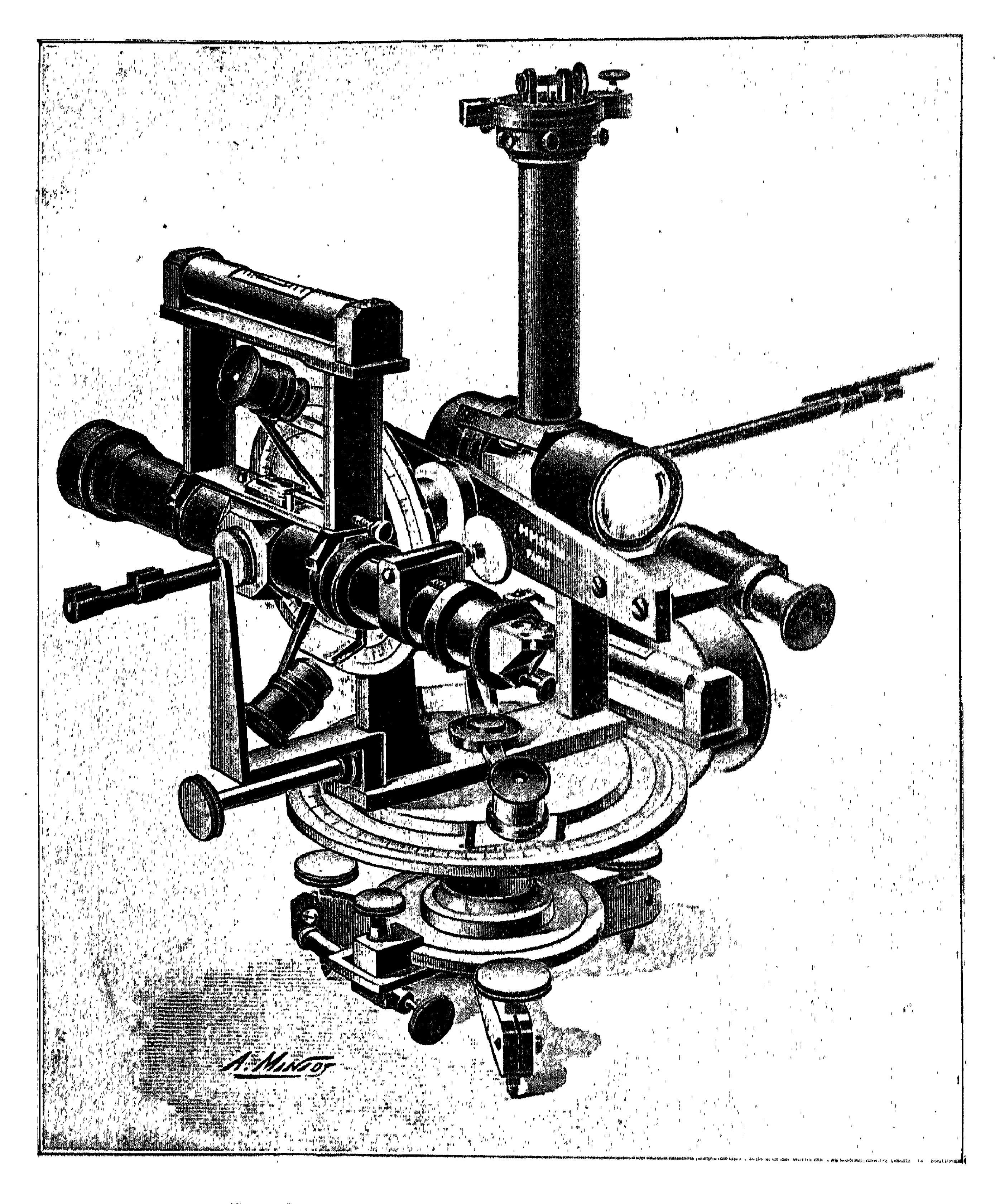
Otro tipo más perfecto es el de Morin (véase la lámina), que conservando las mismas líneas generales tiene mayor apreciación: medio minuto en el círculo azimutal y uno en el vertical, con nonius en ambos.

Como hemos dicho, los ingleses utilizan el magnetómetro Dover, de que hablamos antes, pero para las observaciones en la India ideó el Capitán Fraser un aparato de viaje, construído por la Casa Cook (véase la lámina), de pequeño volumen, fácil transporte, facilidad y precisión de trabajo, con suspensión muy práctica de la barra para facilitar las observaciones de oscilación, que son las más difíciles y delicadas, y con disposición especial para poder trabajar de noche.

Otro aparato de tipo sencillo, pero muy práctico, es el magnetómetro ideado por Lamont, y reformado posteriormente (véase la lamina), suprimiendo los cristales intermedios entre el anteojo y las barras, que son octogonales, asegurando la horizontalidad de éstas, haciendo hermético el cierre de protección y permitiendo montar sobre una sola plataforma los aparatos de observaciones magnéticas y astronómicas, con lo que se obtiene mayor facilidad y exactitud en la observación y se disminuyen las dificultades de transporte.

Para la inclinación, todos, salvo los franceses, han adoptado el tipo del inclinómetro Dover (véase la lámina), la brújula Barrón o el círculo de inclinación de Kew, aparatos análogos, en los que se

EQUIPAJE MAGNÉTICO DE CAMPAÑA



PROYECTADO POR MORIN

monta una aguja imantada, que se mueve libremente en sentido vertical sobre un limbo en el cual se hacen las lecturas, y el total va protegido por una caja de cristal que impidiendo la entrada de aire evita sus efectos y errores consiguientes.

Pero sin duda uno de los equipajes más completos y perfectos es el adoptado en España, construído sobre los planos de Eschenhagen, por la Casa Sartorius, de Gottinge, con materiales ligeros y cuidadosamente seleccionados (madera, latón, bronce y magnaliun) para evitar toda influencia magnética, con una base común para todos los aparatos que lo componen, lo que permite mayor rapidez y exactitud en el trabajo, pues no hay que montarla y nivelarla más que una sola vez, y con el declinómetro perfeccionado, en sustitución del de pivote de Eschenhagen, que resultaba demasiado complicado para el campo y quedará destinado únicamente a las observaciones de la estación base.

Este equipaje comprende los aparatos siguientes:

Una base para medir ángulos azimutales.

Un declinómetro de fibra.

Dos declinómetros de pivote.

Un inclinómetro.

Una caja de oscilaciones, y

Un teodolito astronómico.

La base (véase la lámina) se compone de un limbo azimutal *(a)* de 12 centímetros de diámetro, dividido de veinte en veinte minutos, que descansa en una pequeña columna apoyada sobre tres brazos horizontales provistos de tornillos para su nivelación, y va protegido por una cubierta metálica sobre cuya parte superior hay una plataforma *(b)* que es donde se instalan los diversos aparatos, cuya coincidencia se obtiene por dos pequeños pivotes verticales *(c)* situados sobre ella en sentido diametral, y su sujeción por dos palancas acodadas *(d)* próximas a los pivotes y que entran en una ranura que los mismos llevan. Para mover lenta o rápidamente esta cubierta se utilizan dos tornillos *(e)* de presión y coincidencia que sobre ella van montados.

Lleva, además, esta cubierta en los extremos de otro diámetro dos soportes *(f)*, en los que se colocan, atornillados, los brazos graduados que han de sostener los imanes deflectores y otros dos para los microscopios *(g)*. Estos tienen una escala dividida en diez partes

iguales, correspondiendo exactamente a una división del limbo, de suerte que cada división vale dos minutos, pudiendo apreciarse a ojo hasta las décimas de división, o sea dobles décimas de minuto.

Sobre dos muñoneras *(h)* montadas en la misma cubierta, va un anteojo *(i)* con tornillo de presión y coincidencia *(j)* para sus movimientos verticales, y enfrente otras dos muñoneras *(k)* permiten colocar un espejo obscuro que facilita la observación, impidiendo la entrada de luz a la cámara de oscilación de los imanes de declinación. Detrás del espejo hay un corto cilindro con una hendidura en espiral, donde se introduce el vástago de un contrapeso del anteojo *(l)*. Para guardar el aparato en su caja se abate éste 180 grados, debiendo quitarse entonces el contrapeso, que tiene en el embalaje su sitio especial.

Los extremos de los muñones del anteojo sobresalen para sostener los brazos del nivel que se utiliza para la nivelación de la base, y que va suelto en el equipaje en su caja correspondiente.

El retículo, que tiene cuatro líneas verticales grabadas, dos muy próximas, y las otras dos laterales y simétricamente dispuestas con respecto a las anteriores, va encerrado en un tubo que entra a deslizamiento suave en el anteojo, pudiendo fijarse por medio de un tornillo de presión *(m)* en la posición conveniente de vista distinta con arreglo a la del Observador. Su iluminación se obtiene por medio de un espejo plano *(n)* situado sobre el anteojo, y otro prismático en el interior del tubo del mismo.

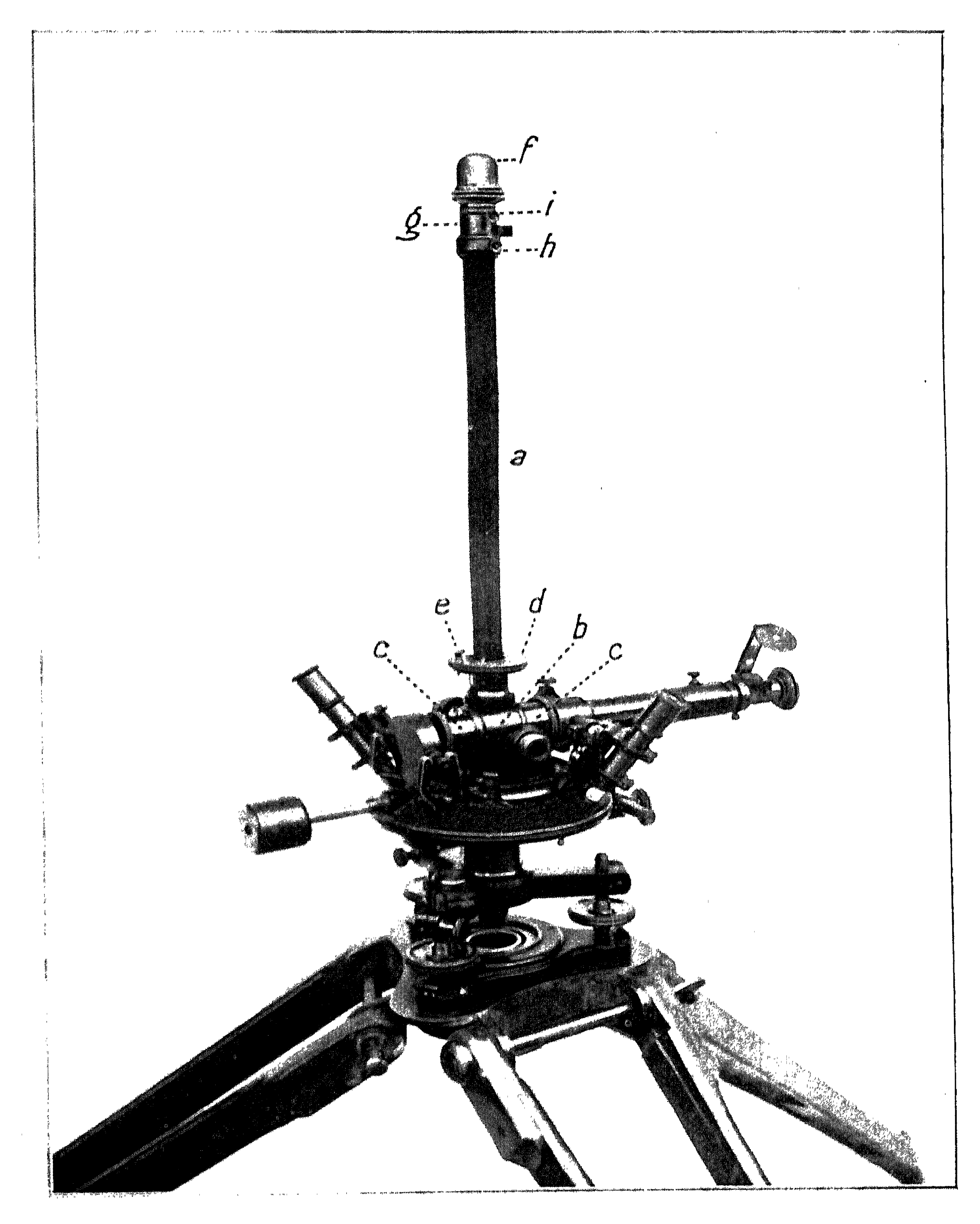
Sobre el trípode se coloca una placa *(o)* que a él puede sujetarse por medio de un tornillo *(p)* que aquél lleva, y sobre esta placa se alojan las cabezas de los tres tornillos de nivelación de la base, que a su vez se sujetan por medio de otra placa giratoria más delgada y unida a la anterior.

Sobre esta base, como hemos dicho, pueden colocarse y sujetarse todos los aparatos de observación. Es uno de ellos el declinómetro de fibra (véase la lámina), que se compone del tubo de suspensión *(a)*, montado sobre la cámara de oscilación *(b)* del imán, la que a su vez descansa sobre una columna y una base circular, que se adapta a la plataforma que hemos dicho existe en la base general descrita. La cámara es un cilindro hueco, a cuyas bases se atornillan dos cabezas *(c)* también cilíndricas, cerradas exteriormente por cristales que permiten ver los extremos de la barra imantada, que suspendida de una

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA

BASE GENERAL

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA



DECLINÓMETRO DE FIBRA

hebra de capullo de seda o de un finísimo hilo metálico, puede oscilar libre y horizontalmente. El hilo de suspensión se sujeta en su parte superior a un vástago, roscado por el otro extremo, que atraviesa el interior de la cabeza de suspensión por un hueco que tiene un nervio que entra en una ranura de dicho vástago para guiarlo, penetrando después en una tuerca que gira sin salir de su plano y permite subirlo o descenderlo y por tanto elevar o bajar el imán, que puede así centrarse en su cámara.

Los hilos de seda tienen en la práctica muchos inconvenientes, pues se rompen con gran facilidad y su sustitución es dificilísima. Se emplearon los de latón, que se oxidaban fácilmente haciéndose quebradizos, y hoy se utilizan otros de una aleación de platino-iridio, de 0,0418 milímetros de diámetro, inoxidable y de mayor duración, ventaja grande si se tiene en cuenta lo difícil de la operación de sustituirlo y de rectificar su colocación de modo que no tenga torsión.

Del extremo inferior del hilo pende un estribo, a él sujeto por medio de una ranura con tuerca, y de éste se suspende el imán. Lleva el estribo una abertura en su centro, que es plano para que en él aprieten dos mordazas interiores guiadas por un pasador que atraviesa las tres piezas y sirve además para evitar la caída del imán caso de ruptura de la fibra. Las mordazas se maniobran por medio de una arandela *(d)* situada en la base del tubo, a la cual puede fijarse por medio de un tornillo de presión *(e)*.

La parte superior del tubo se cubre por medio de un sombrerete *(f)* que entra a rosca y el total de la cabeza de suspensión del hilo se aloja en un cilindro *(g)* sujeto al tubo por medio de dos tornillos *(h)* y puede moverse dentro de él aflojando el tornillo de presión *(i)* correspondiente, que sirve para fijarla a voluntad sobre el cilindro, el cual tiene una graduación con divisiones de 15 en 15 grados, numeradas de dos en dos, que se utilizan para medir los giros de la cabeza, cuando ésta se mueve, al objeto de estudiar la torsión de la fibra de suspensión.

Este declinómetro es el generalmente usado en el campo por la dificultad que para su manejo presenta el de pivote, preferido por Eschenhagen porque entendía que resistía mejor los efectos del viento, opinión contraria a la de Lamont y Schmidt que creyeron ser más exacta la suspensión que el apoyo, por evitar el rozamiento.

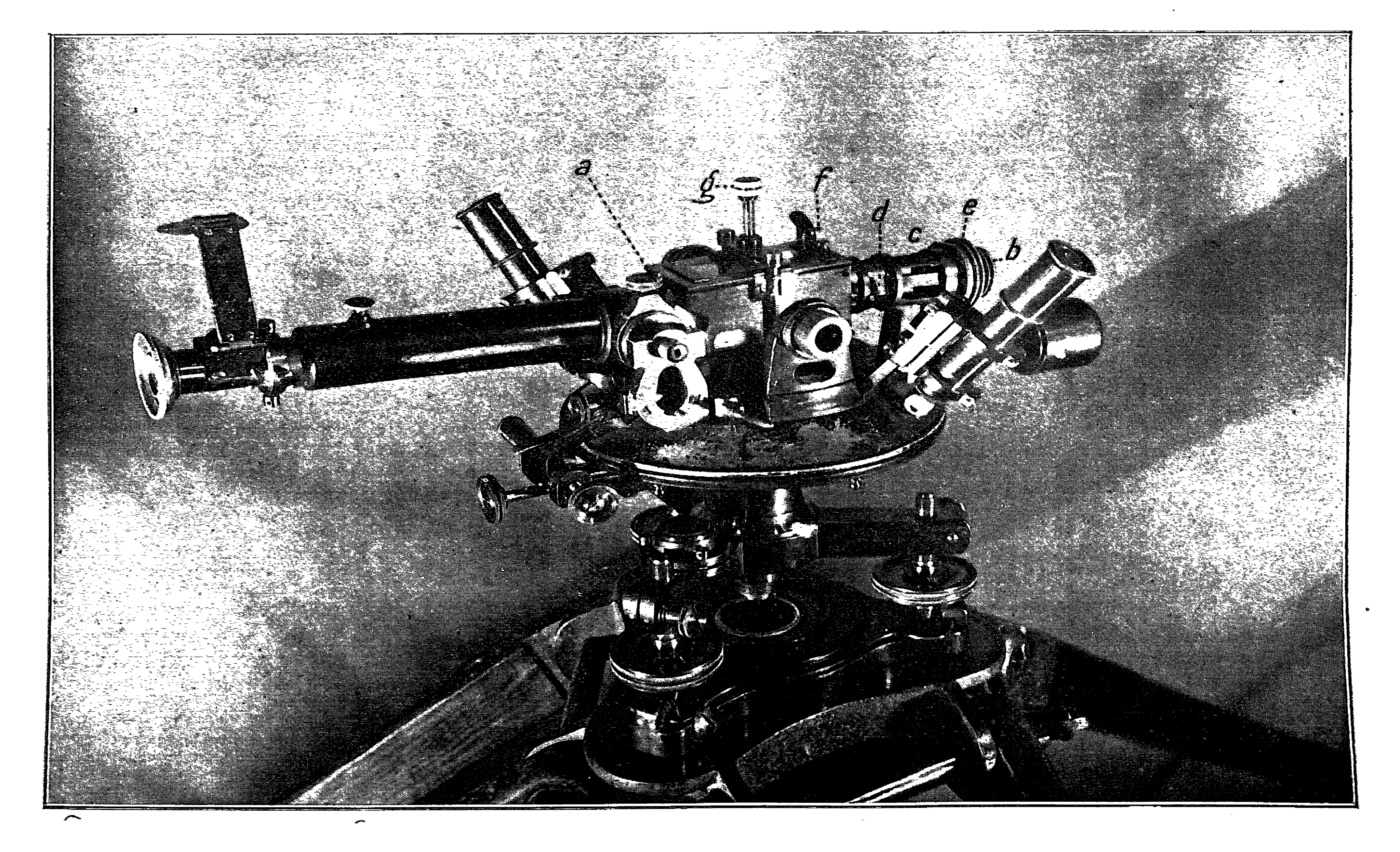
El declinómetro de pivote (véase la lámina) está formado por una

cámara prismática cuadrangular, que descansa sobre una base análoga a la del anterior, y que en sus dos bases lleva unos orificios circulares, cubierto el que corresponde al anteojo *(a)* con una tapa con cristal que permite ver el imán que se coloca en el interior de la cámara. En el otro orificio puede ajustarse una cabeza *(b)* que lleva un esqueleto *(c)* para colocar el imán al introducirlo en la cámara, y en el interior unas pinzas *(d)* pueden o no sujetarlo según se cierren o se abran moviendo una arandela *(e)* que hay en la parte exterior de la cabeza. El pivote va sujeto a tornillo a la cara inferior de la cámara para poder extraerlo y sustituirlo. Un tope *(f)* que se mueve con una palanca permite fijar la cabeza, una vez introducido el imán, y un tornillo *(g)* eleva o desciende el pivote dejando el imán libre o apoyado sobre él.

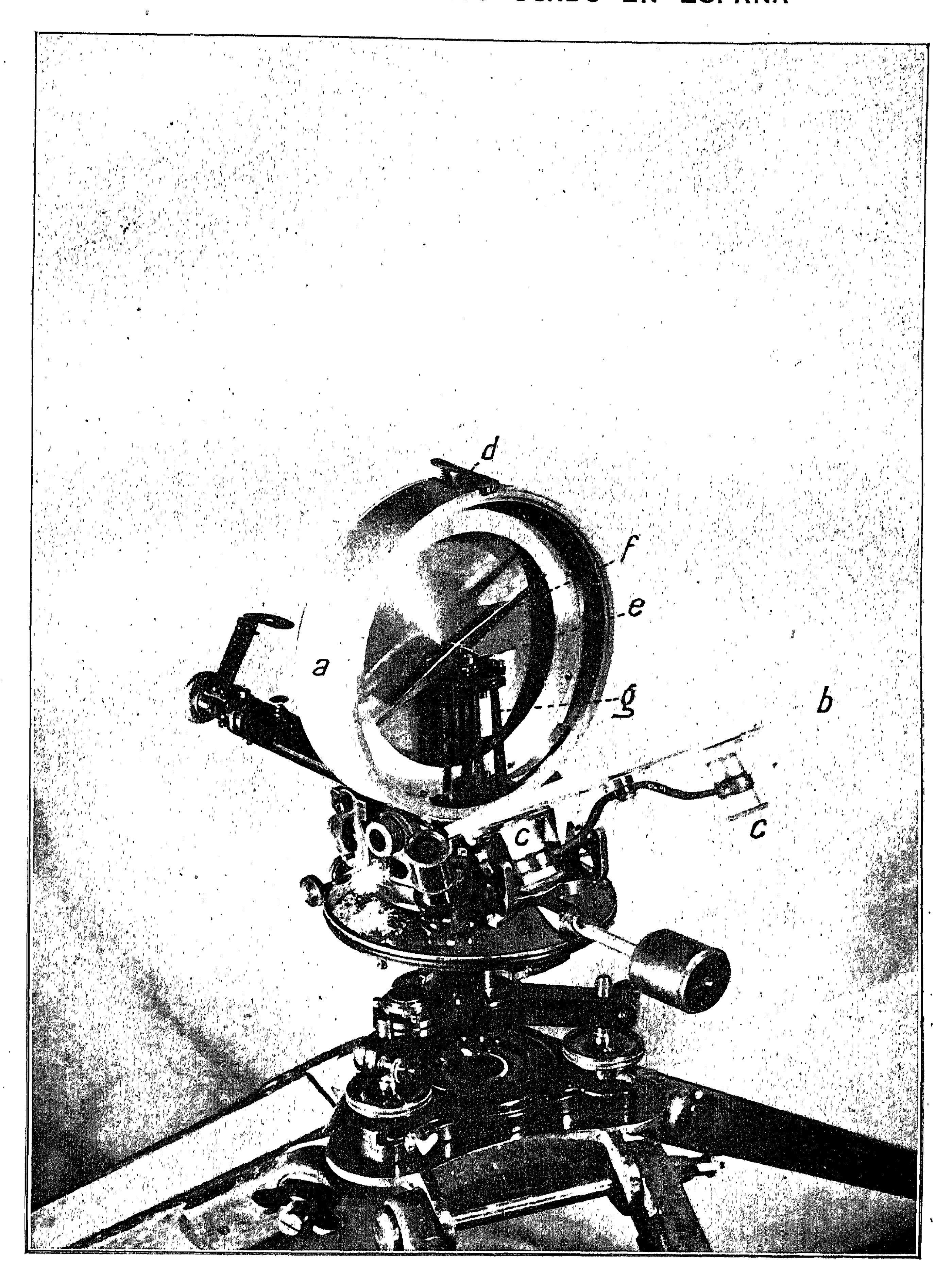
Se trató de evitar los inconvenientes que para el trabajo en el campo presenta este declinómetro, modificándolo como en el núm. 8 de la lámina «Accesorios» puede verse, o sea haciendo movible la cara superior de la cámara *(a)* para poder por ella introducir el imán, apoyándolo sobre una meseta *(b)* movible por una cremallera engranada con un tornillo *(c)* que maniobrado del exterior permite descenderla o elevarla, dejando apoyado o no el imán sobre el pivote *(d)*, que aquí es fijo y está atornillado a la cara inferior, por donde puede sustituirse. Aún así mejorado, el manejo del declinómetro de pivote no es fácil en el campo y por eso, y por su mayor exctitud, se utiliza generalmente el de fibra, como hemos dicho.

Los imanes que en éste se emplean (véase núm. 1, lámina «Accesorios»), son dos: uno fuerte y otro debilmente imantados, sirviendo éste para el estudio de la torsión de la fibra. Se diferencian en el número que cada uno lleva grabado, que es menor en el primero. Ambos son iguales de dimensiones y forma, cilíndricos, huecos, con un espejo pequeño en su interior para reflejar el retículo del anteojo de la base antes descrita, marcados en un extremo con la letra *N* que indica su polaridad, y con dos corchetes *(a)*, de forma de T en su punto medio y en generatrices diametralmente opuestas, los cuales sirven para suspenderlos en posiciones simétricas e inversas del estribo antes descrito, que pende a su vez de la fibra del declinómetro. Los dos imanes van encerrados en un estuche especial y debe cuidarse al colocarlos en él de hacerlo en forma que los extremos, que son polos del mismo nombre, no coincidan.

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA



DECLINÓMETRO DE PIVOTE



INCLINÓMETRO

Para el declinómetro de pivote se emplea un imán (véase núm. 2, lámina «Accesorios») compuesto de cuatro láminas colocadas paralelamente sobre un pequeño cilindro *(a)* que lleva en su interior dos ágatas en las que se apoya el pivote, guiado por otros pequeños cilindros huecos *(b)* que tiene el anterior en sus extremos. Un pequeño espejo *(c)*, que puede reflejar el retículo del anteojo de la base, va montado sobre la armadura que sirve de unión a estas barras, las que se han magnetizado separadamente para obtener mayor permanencia que la que se consigue con imanes de una sola barra. El todo puede invertirse apoyándose sobre el pivote en posiciones simétricas.

Otro de los aparatos de que consta el equipaje es el inclinómetro (véase la lámina), caja cilíndrica *(a)* de mucha base y poca altura, construída con magnalium, menos una de las bases *(b)* que es de cristal reforzado con una cruz ancha del mismo metal, modificación introducida por el Observador Gil en vista de la frecuencia con que se rompía el cristal en la forma que lo montó el constructor.

En el centro de la cruz, y pudiendo girar a su alrededor, se sujeta un diámetro, que en sus extremos lleva dos microscopios *(c)*. Esta base puede abatirse, girando a charnela, para dejar abierto el interior del cilindro, o sujetarse a éste por medio de una palanca *(d)* situada en la parte superior de la caja. Lleva ésta en su interior dos horquillas *(e)*, que pueden moverse en sentido vertical por una palanca exterior a ella y situada en su parte posterior, las cuales permiten, elevadas, que descanse sobre ellas una aguja *(f)*, y al descender que se apoye sobre dos soportes fijos *(g)*, terminados por dos ágatas, y pueda oscilar libremente en el plano vertical de un círculo graduado de veinte en veinte minutos y numerado cada 10 grados desde los ceros situados en los dos extremos del diámetro horizontal hasta los 90 grados. Así, llegada la aguja al equilibrio, sus extremos, vistos a través de los microscopios, señalan la inclinación, que se lee, con apreciación de dos minutos, sobre el círculo graduado con ayuda de los microscopios.

Las agujas que se emplean, de forma de rombo muy alargado, son dos, numeradas, que llevan dos trazos en los extremos para facilitar la lectura y las letras *A* y *B*, y uno de los números romanos I y II en cada cara. En su centro van los muñones, que son dos cilindros de distinto diámetro, el exterior, más fino, se apoya en las ágatas, y el interior, más grueso, en las horquillas cuando se elevan.

Estas agujas se imantan, con dos imanes planos, antes de cada observación, colocándolas en un soporte especial de madera que figura, como dichos imanes, en el equipaje, y pueden verse en la lámina «Accesorios», en la que el número 5 señala la caja donde van encerradas las dos agujas; el 9, los imanes, y el 10, el soporte.

El inclinómetro está montado sobre una plataforma igual a la del declinómetro, con objeto de colocarlo sobre la de la base común en igual forma que éste.

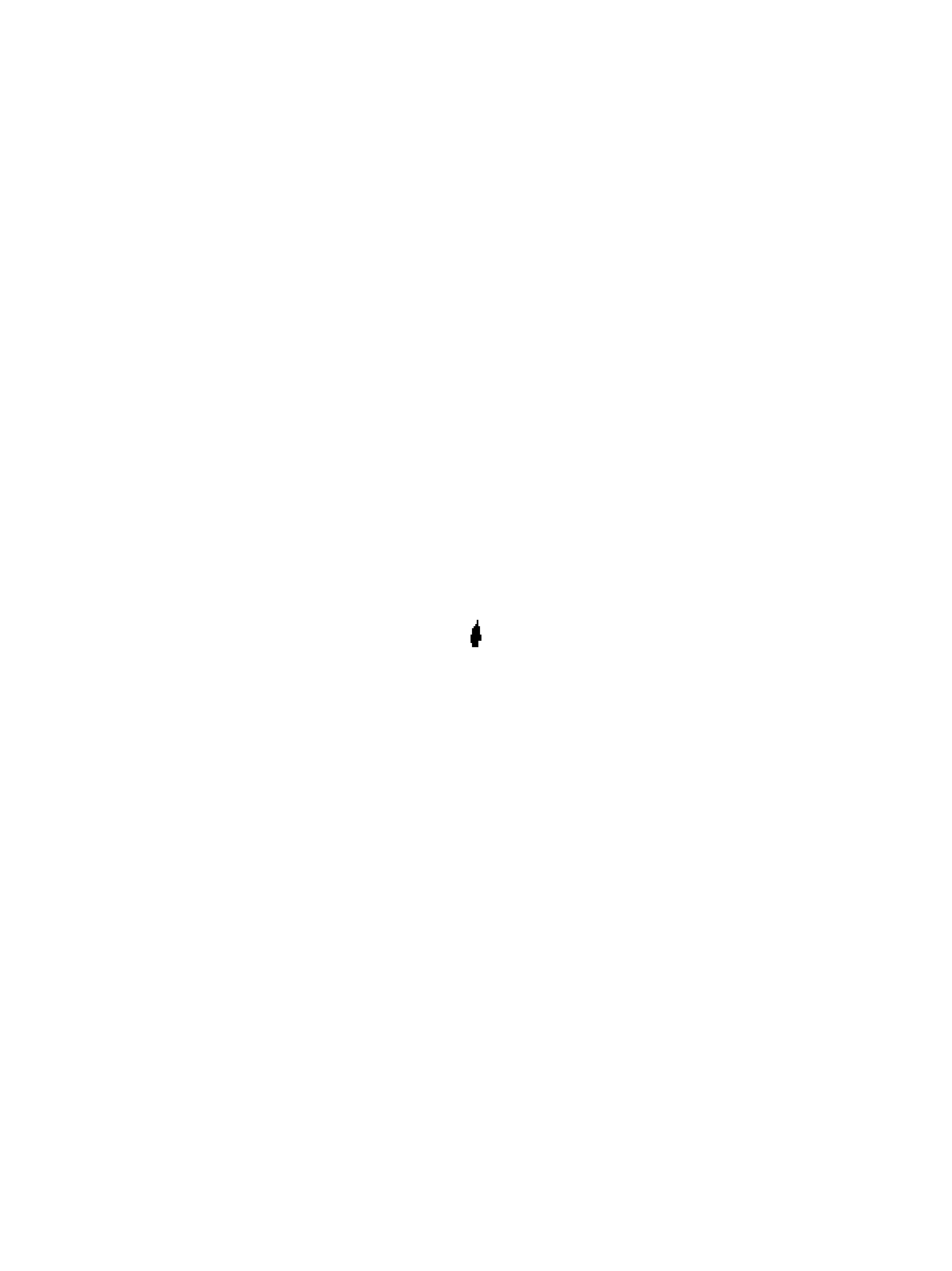
Para la medida de la intensidad horizontal por desviaciones, se emplea el declinómetro de fibra antes descrito, adicionando la base (véase la lámina) con dos brazos *(a)* atornillados por medio de unas arandelas *(b)* en los dos soportes de que hablamos al describirla, brazos que tienen una parte acanalada en la que se coloca el imán deflector *(c)* contrapesado por una barra cilíndrica de su misma masa, colocada en el otro brazo en posición simétrica, para facilitar lo cual están graduados dichos brazos, aunque en España sólo se utiliza una posición, previamente estudiada, calculada y señalada con un tope *(d)* a través del cual puede pasar el termómetro *(e)* que se emplea para tomar la temperatura del interior del imán. Este se protege, para evitar en lo posible toda influencia de la temperatura exterior, con unos cilindros huecos *(f)* de aluminio sujetos con unas palancas de muelle *(g)*. En la lámina uno de estos cilindros protectores se ha dejado sin sujetar para que permita ver el interior del brazo acanalado.

El imán deflector es un cilindro hueco, señalado en uno de sus extremos con una *N* y un número, en generatrices diametralmente opuestas, en las que lleva también, en su parte media, dos pequeños corchetes *(h)* en forma de T, que permiten suspenderlo en dos posiciones simétricas de un estribo que pende de la fibra de la caja de oscilaciones, en forma análoga a la que hemos descrito para la de declinación.

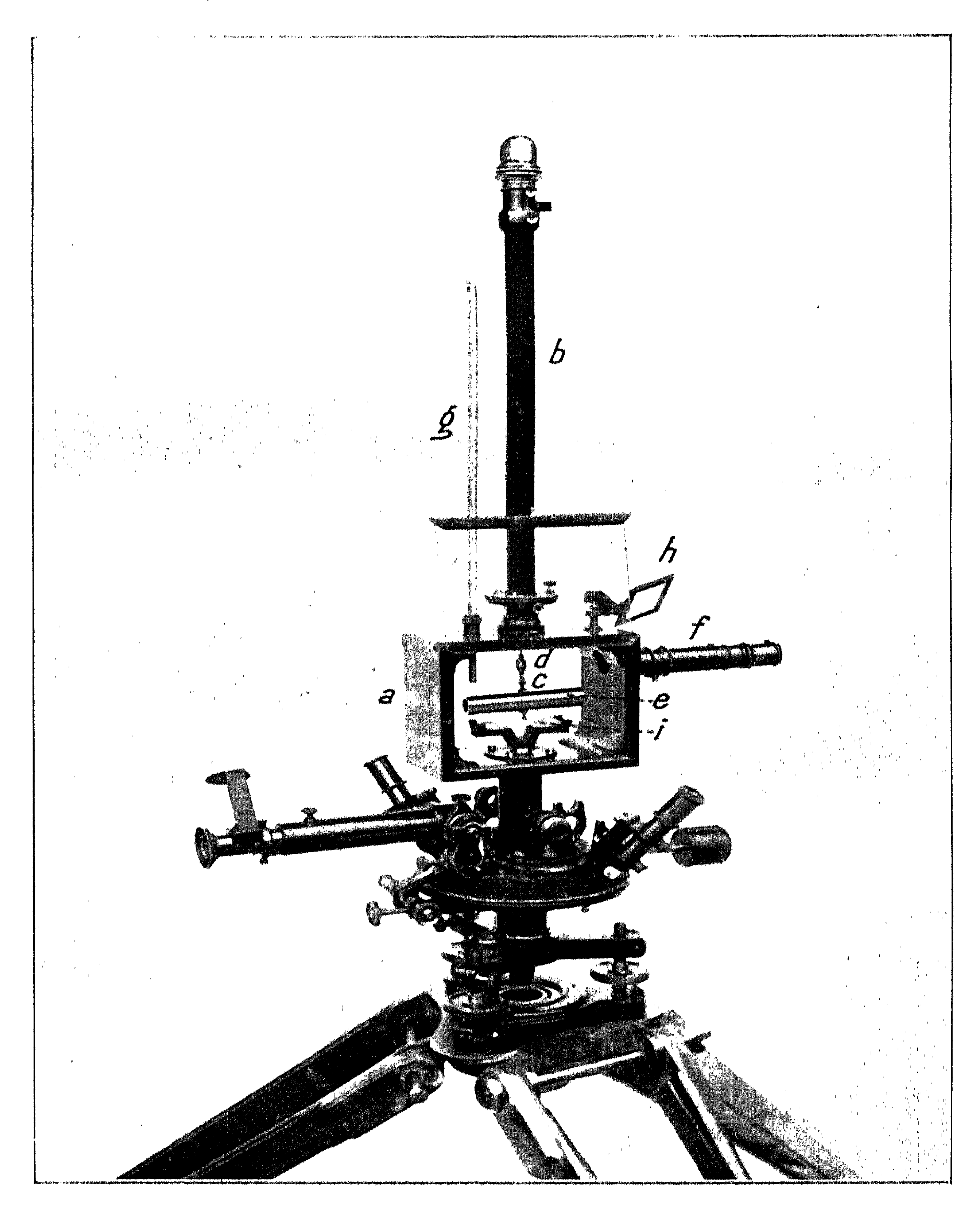
Estos imanes son dos (véase la lámina que presenta los embalajes abiertos), cada uno va encerrado en una caja de madera formada por dos medias cañas *(a)* las cuales unidas, hacen un cilindro hueco, que tiene interior y exteriormente la misma *N* y número del imán, para colocarlo siempre en la misma posición. Con objeto de evitar toda influencia magnética exterior, esta caja de madera se encierra en otra cilíndrica de hierro *(b)*, que sirve de pantalla y a su vez se

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA

DISPOSICIÓN PARA OBSERVAR LAS DESVIACIONES
EN LA MEDIDA DE LA COMPONENTE HORIZONTAL DE LA INTENSIDAD



EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA



DISPOSICIÓN PARA OBSERVAR LAS OSCILACIONES EN LA MEDICIÓN DE LA COMPONENTE HORIZONTAL

coloca, para facilitar el transporte evitando cualquier golpe, en una caja almohadillada de madera, con pantallas de hierro, protegida en un estuche de cuero. Debe recomendarse especialísimo cuidado en el uso y transporte de estos imanes, pues cualquier golpe, temperatura excepcional o influencia magnética exterior, puede variar su momento magnético.

Los termómetros usados para medir la temperatura de estos imanes son dos, que han sido perfectamente estudiados y comparados.

Para las oscilaciones lleva el aparato una caja especial (véase la lámina) montada sobre soporte igual a los antes descritos y con el mismo objeto de poder colocarla sobre la plataforma de la base común. La caja de oscilaciones es un paralelepípedo rectangular *(a)*, de madera, con las dos caras laterales de cristal que pueden separarse deslizándose verticalmente, como muestra la lámina, o sujetarse a la caja por medio de aldabillas colocadas en la parte superior de ella, permitiendo así abrirla o cerrarla herméticamente. A la cara superior y en su centro se atornilla un tubo *(b)*, en cuyo interior hay una fibra igual a la del declinómetro e igualmente montada, de la que pende también un estribo *(c)* análogo al de aquél, pero que lleva, además, un pequeño espejo *(d)* en el que se reflejan las divisiones de una escala graduada del cero, que está en el centro, al 20 en sus extremos, grabada en un cristal colocado en una placa que puede moverse verticalmente, va ajustada a la armadura a la cola de milano y lleva un cilindro en el que entra a rozamiento suave un anteojo *(f)*, a través del que se hace la observación. Un termómetro especial *(g)*, que puede introducirse por la cara superior a través de un pequeño cilindro hueco, permite medir la temperatura del interior, y con un espejo *(h)* montado sobre una rótula se puede iluminar el interior del anteojo, la escala graduada y el espejo que la refleja.

Un soporte *(i)* colocado en el interior, forrado de piel de conejo para amortiguar las oscilaciones del imán *(e)*, y que puede moverse verticalmente desde el exterior por medio de una llave, sirve para recibir a éste, elevarlo y suspenderlo del estribo que pende del extremo de la fibra.

Para determinar astronómicamente la latitud del lugar (cuando no se conoce previamente), la hora del cronómetro y el azimut de las miras utilizadas para la medida de la declinación, lleva el equi-

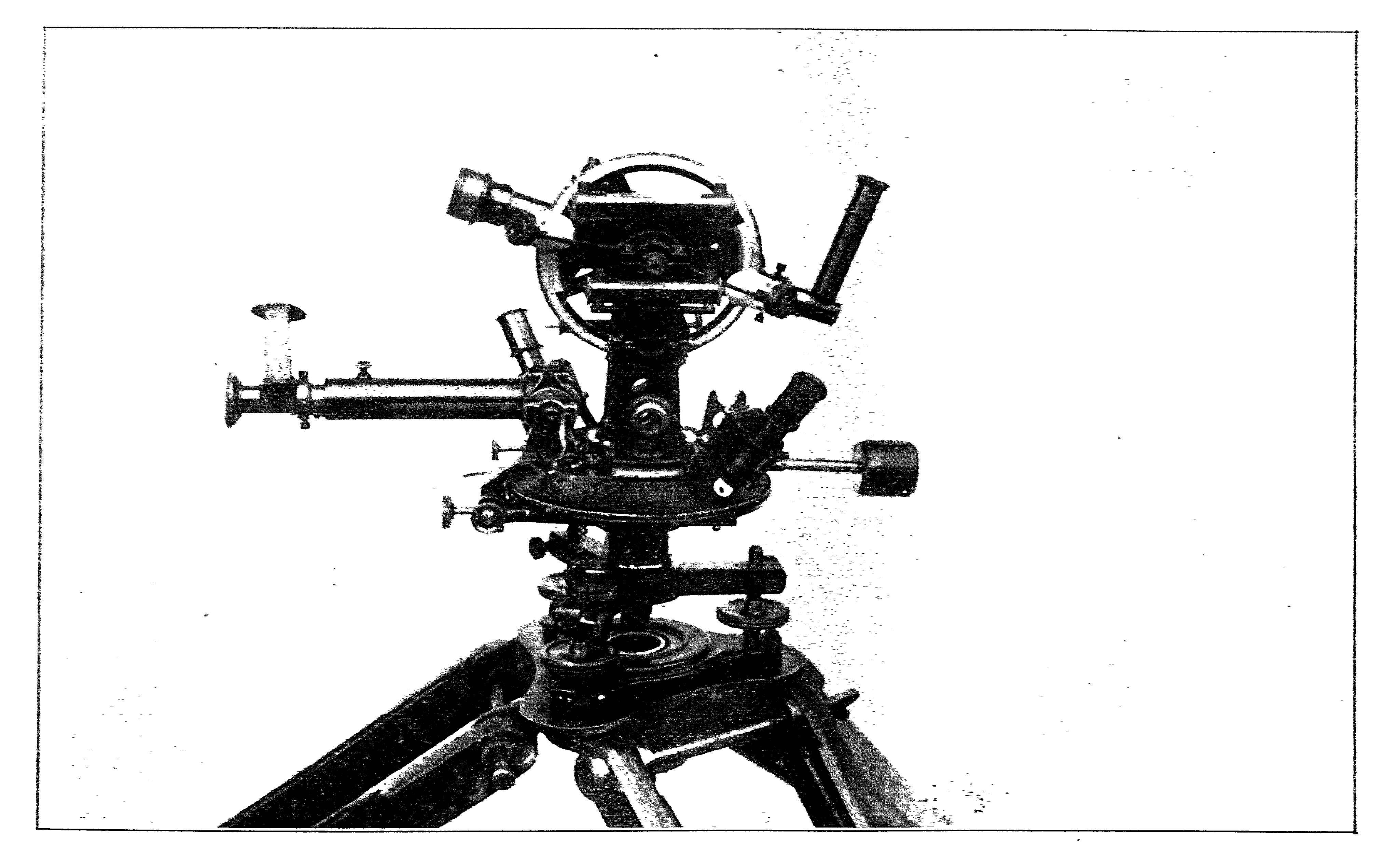
paje un teodolito astronómico (véase la lámina), que puede montarse de modo igual a los demás aparatos sobre la misma plataforma de la base de que tantas veces hemos hablado, y que no se diferencia esencialmente de los aparatos análogos. Sírvele de limbo azimutal el mismo de la base, y lleva uno vertical (con nonius que permiten apreciar minutos), cuatro niveles para las correcciones, un ocular recto y otro acodado y tres cristales de color para poder observar directamente el Sol.

El último de los aparatos de que el equipaje se compone es una brújula (núm. 3 de la lámina «Accesorios»), montada sobre plataforma que puede colocarse sobre la de la base, y se utiliza para conocer aproximadamente el meridiano magnético y determinar el ángulo que forma con las miras elegidas. Figuran además en el equipaje (véase la lámina «Accesorios») el contrapeso para el imán deflector en las desviaciones (4), un espejo obscuro para el declinómetro (7), unas pinzas para el manejo de los imanes (6), el nivel para la base (13), los dos contrapesos (11 y 12) para rectificar la torsión de los hilos del declinómetro y caja de oscilaciones y otros accesorios, como plomada, destornillador, palancas, etc.

Todo el equipaje vino embalado en una gran caja de madora, encerrada en otra de cuero, que era preciso facturar en los transportes por ferrocarril, pues su gran volumen impedía llevarla en el coche de viajeros.

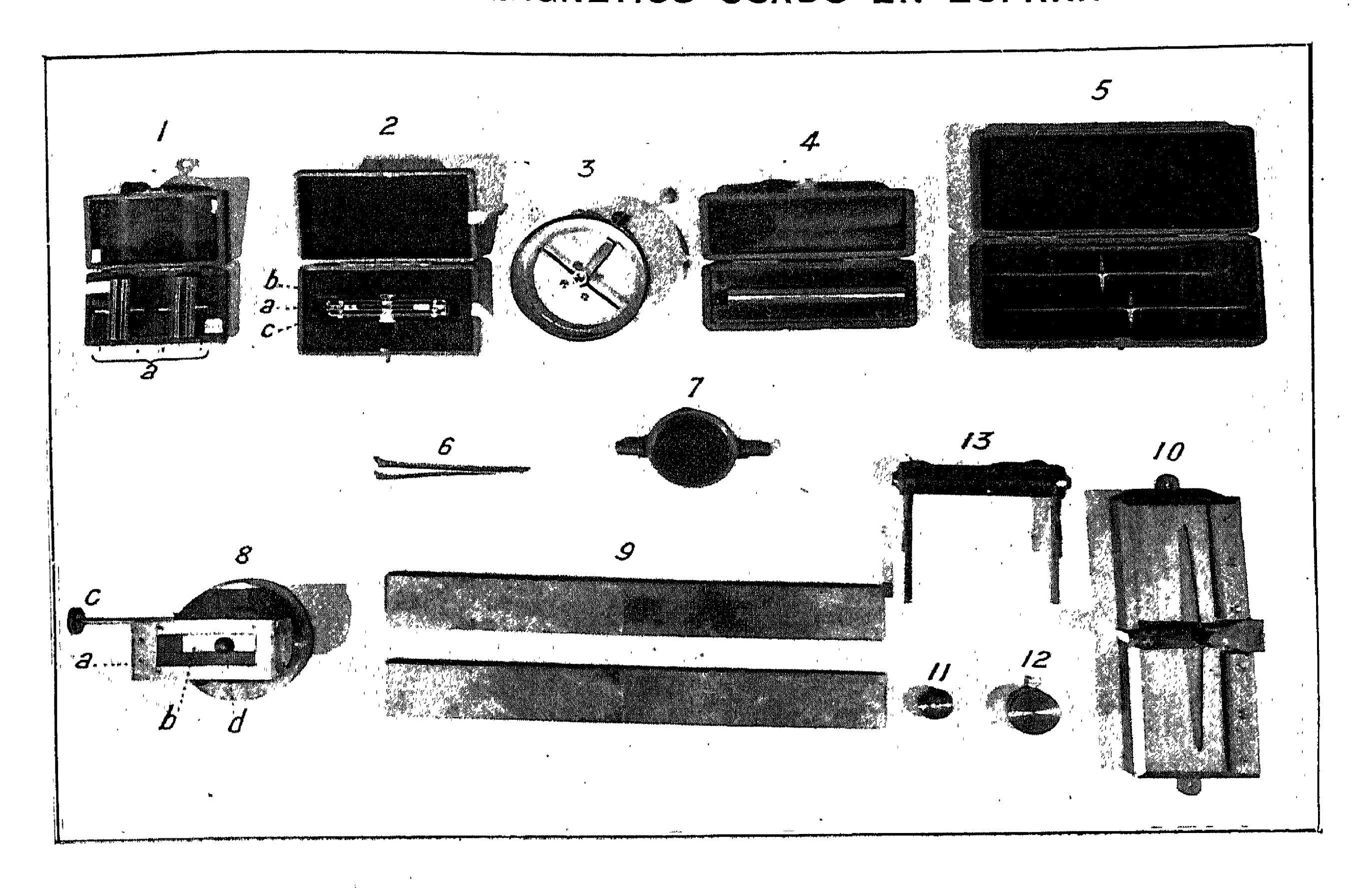
Pronto se vió la gran dificultad que esto presentaba, pues el escaso cuidado con que son tratados los equipajes por el personal de las Compañías de ferrocarriles produjo en varias ocasiones averías en los aparatos, que hicieron precisa la interrupción por algunos días de la campaña, y entonces el Observador Gil ideó e hizo construir el embalaje actualmente empleado, que consta de tres cajas pequeñas, que en las láminas correspondientes se muestran cerradas y abiertas, y que por su peso y volumen son manejables, pudiendo transportarlas consigo mismo el Observador. En otra pequeña caja con estuche de cuero, de que hemos hablado, se llevan los imanes deflectores y en una funda especial de lona reforzada con cuero el trípode y un pequeño sombrajo, también ideado y construído bajo la dirección de Gil, que se utiliza para resguardarse del Sol, en la medida de la declinación, una vez que se han terminado las observaciones directas del astro.

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA

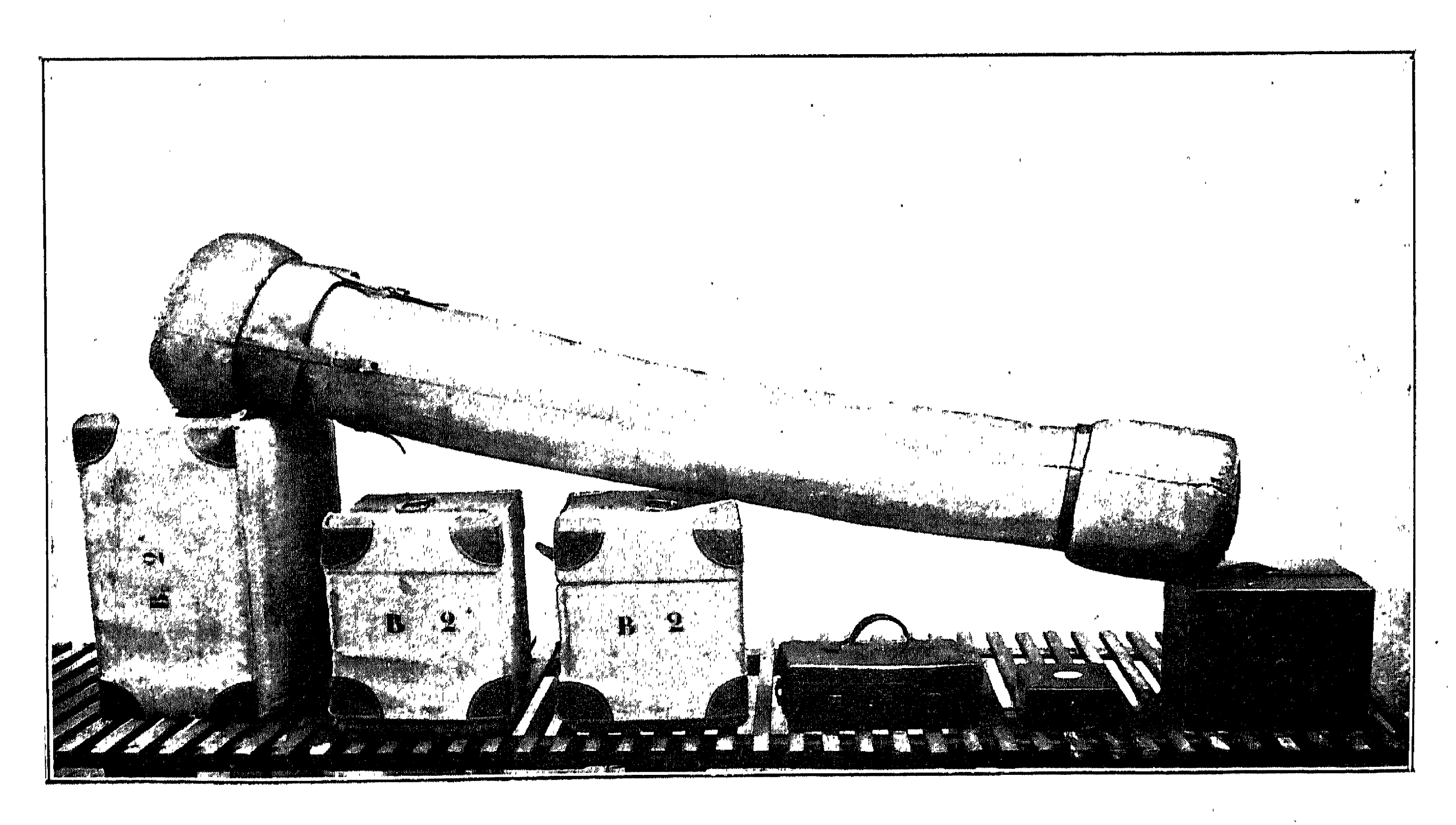


TEODOLITO ASTRONÓMICO

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA

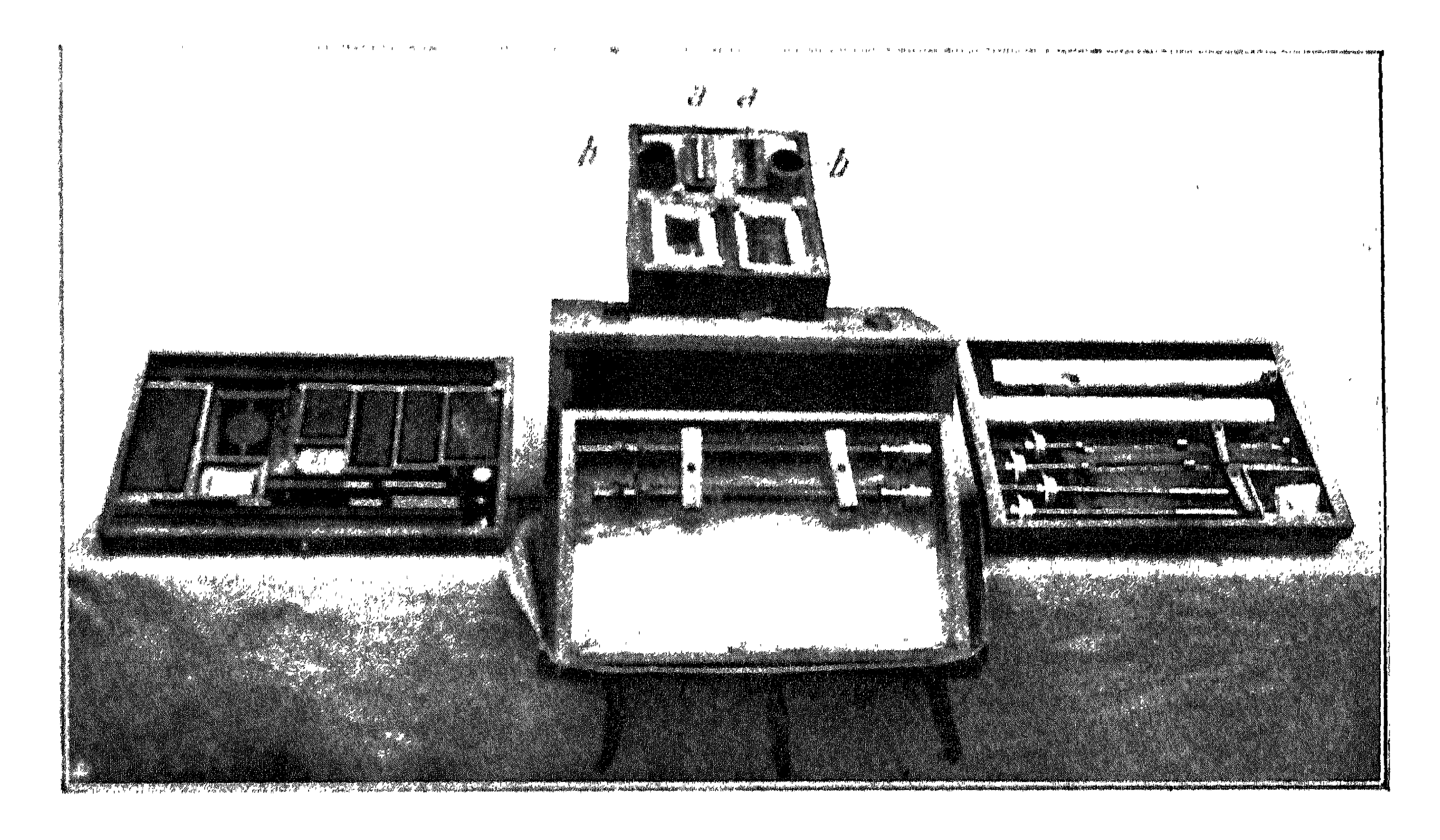


ACCESORIOS

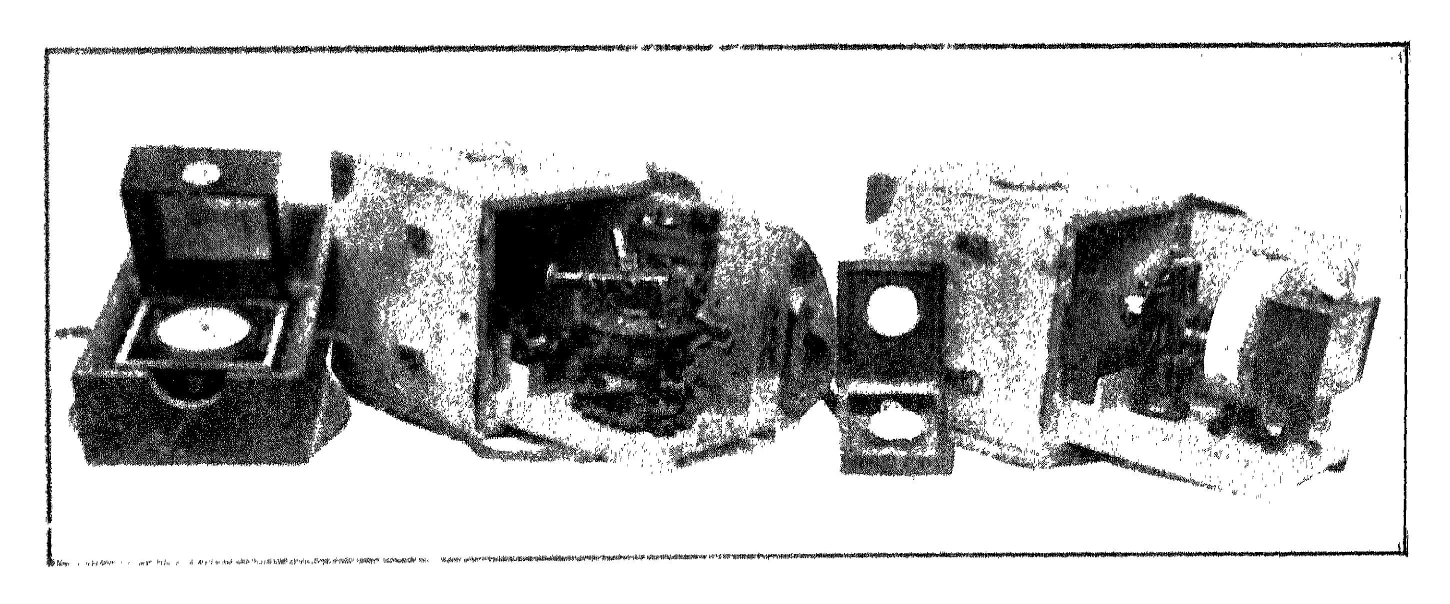


EMBALAJES

EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA



EMBALAJES ABIERTOS DE LOS IMANES DEFLECTORES Y ACCESORIOS



EMBALAJES ABIERTOS DE LOS APARATOS Y CRONÓMETROS

Como aparatos auxiliares se utilizan un cronómetro de tiempo medio que bate medios segundos, otro construído especialmente para el transporte de hora en la determinación aproximada de diferencias de longitud, que puede utilizarse a este objeto cuando no es previamente conocida la del lugar de estación, y sirve siempre para observar la marcha del anterior, cosa indispensable dada la movilidad que impone este trabajo, y una tienda de campaña, construída con materiales antimagnéticos, que sirve para albergar al Observador y su aparato, en caso que sea conveniente utilizarla.

Los dos equipajes magnéticos empleados en España tienen los números 8 193 y 8 194 del modelo Tesdorpf.

VIII

DETERMINACIÓN DE LAS CONSTANTES

En el mes de Mayo de 1911, el Real Instituto Meteorológico y magnético de Potsdam advirtió a nuestro Instituto Geográfico que los dos equipajes magnéticos encargados estaban terminados y entregados al mismo para la determinación de sus coeficientes, operación que debía efectuarse en el Observatorio de Potsdam, ya que en España carecemos de cámaras y aparatos apropiados para llevarla a cabo. A este efecto, el Jefe del Servicio meteorológico prusiano Profesor Hellmann solicitaba el envío de dos Ingenieros, ya que la determinación de ciertos coeficientes, como los de temperatura, necesitaban la observación continua, día y noche, de dos en dos horas, durante el plazo de un mes.

En consecuencia, en el mes de Junio del mismo año, marcharon a Potsdam los Ingenieros Gil y Fort, designados a este efecto, que trabajaron infatigablemente en Potsdam durante cuatro meses, siendo muy cariñosamente atendidos por el sabio Profesor Hellmann, solícitamente dirigidos por el Profesor Schmidt, Director del Instituto Magnético, y fraternalmente secundados en sus trabajos por el Profesor Bruckmann, de aquel Observatorio, que había sido especialmente designado para colaborar en el trabajo de los dos Ingenieros españoles.

Al cabo de cuatro meses, tiempo mucho menor del que para la misma labor habían empleado en Potsdam Ingenieros de otras naciones, la determinación de coeficientes estaba terminada, y a principios de Octubre de 1911 regresaron a España los dos Ingenieros citados, perfectamente impuestos de la práctica de las operaciones y trayendo consigo los equipajes magnéticos listos para dar comienzo a las observaciones en España.

Como a la par que la determinación de coeficientes de los dos equipajes magnéticos adquiridos, se había efectuado la de sus constantes con relación a los aparatos del Observatorio de Potsdam, se presentaba una ocasión única y excepcional de establecer un estudio comparativo entre los Observatorios de Potsdam y del Ebro, por medio de la determinación inmediata de las constantes de los mismos equipajes con relación a los aparatos de este Observatorio, y la comparación de los resultados obtenidos en ambos.

Este trabajo, de la mayor importancia científica, fué sumamente recomendado por el Profesor Schmidt a los Ingenieros españoles, y a poco de llegar estos a España pasaron al citado Observatorio del Ebro a efectuarlo.

Se hizo con gran escrupulosidad en los últimos días de 1911 y primeros de 1912, y sus resultados, que a continuación consignamos, fueron enviados al Profesor Schmidt, quien manifestó al Instituto su gran satisfacción por el conocimiento de tan interesantes elementos magnéticos.

Constante de declinación.—Proviene principalmente de que no pueden ser absolutamente antimagnéticos los metales y aleaciones invertidos en la construcción de los aparatos, de la influencia de la electricidad electrostática de los cristales que cierran las cámaras donde se mueven los imanes, y de la ecuación personal del Observador.

Los resultados de la comparación cuidadosa de los declinómetros usados en el levantamiento de España con aparatos magistrales de los Observatorios de Potsdam y Tortosa, se contienen en la siguiente tabla:

Postdam.—Imanes números 1 y 3........	1911	Septiembre...	8:	+ 4'.10	Constante de declinación.. + 3'.49
	1911	Idem.........	13:	+ 3'.02	
	1911	Idem.........	14:	+ 3'.32	
Postdam.—Imanes números 2 y 4........	1911	Agosto	15:	+ 4'.41	Constante de declinación.. + 3'.37
	1911	Septiembre...	11:	+ 3'.54	
	1911	Idem.........	17:	+ 2'.16	
Tortosa.—Imanes números 1 y 3........	1911	Octubre......	25:	+ 3'.15	Constante de declinación.. + 3'.66
	1911	Noviembre ...	2:	+ 3'.73	
	1911	Idem.........	3:	+ 4'.12	
Tortosa.—Imanes números 2 y 4........	1911	Octubre......	21:	+ 2'.35	Constante de declinación.. + 2'.84
	1911	Idem.........	26:	+ 2'.96	
	1911	Noviembre ...	6:	+ 3'.20	

Como resultado de esta comparación de observaciones puede afirmarse el perfecto acuerdo en la declinación de los aparatos de ambos Observatorios, puesto que las diferencias entre los promedios de las constantes de declinación obtenidas, son menores de un minuto y del límite de apreciación de los declinómetros de campo empleados en la comparación.

Constante de inclinación.—Sus causas son las mismas, y los resultados obtenidos en Potsdam y Tortosa son los siguientes:

Potsdam.—Aguja número 1	1911 Septiembre....	6:	+1' 6	Constante de inclinación.. + 1'.9
	1911 Idem..........	11:	+4' 2	
	1911 Idem..........	19:	—0' 2	
Potsdam.—Aguja número 2	1911 Agosto........	9:	—3',3	Constante de inclinación.. — 4'.4
	1911 Idem..........	10:	—4',7	
	1911 Idem..........	14:	—5',1	
Potsdam.—Aguja número 3	1911 Agosto........	9:	+1'.5	Constante de inclinación.. + 0'.6
	1911 Idem..........	10:	—0',2	
	1911 Idem..........	14:	+0',4	
Potsdam.—Aguja número 4	1911 Agosto........	9:	+0'.0	Constante de inclinación.. — 1'.0
	1911 Idem..........	10:	—0'.8	
	1911 Idem..........	14:	—2'.3	
Tortosa.—Aguja número 1	1911 Octubre.......	21:	—0'.2	Constante de inclinación.. — 1'.4
	1911 Idem..........	25:	—1'.2	
	1911 Noviembre....	4:	—2'.7	
Tortosa.—Aguja número 2	1911 Octubre.......	21:	—2'.5	Constante de inclinación.. — 4'.8
	1911 Idem..........	25:	—5'.8	
	1911 Noviembre....	4:	—6'.0	
Tortosa.—Aguja número 3	1911 Octubre.......	24:	+9',0	Constante de inclinación.. + 6'.4
	1911 Idem..........	28:	+4'.0	
	1911 Noviembre....	4:	+6'.0	
Tortosa.—Aguja número 4	1911 Octubre.......	24:	—0'.8	Constante de inclinación.. — 0'.3
	1911 Idem..........	28:	—3'.1	
	1911 Noviembre....	4:	+3'.1	

Sigue el mismo acuerdo que hicimos notar en la declinación, puesto que las diferencias son, en general, inferiores al límite de apreciación de los aparatos empleados.

Constantes de los imanes.—El conocimiento de la constante de los imanes empleados es indispensable para el cálculo de la componente horizontal de la intensidad, que viene dada, según Lamont, por la fórmula:

$$H = \pi \sqrt{\frac{2kK}{l^3} + \frac{1}{T \operatorname{sen} \varphi}},$$

en la que k es el coeficiente de inducción de la barra desviante,
K el momento de inercia de la misma,
l la distancia entre las barras desviante y desviada,
T la duración de una oscilación, y
φ el ángulo de desviación.

El primer factor del segundo miembro, al que llamaremos C, es constante para la misma barra y distancia, y puede determinarse absoluta o relativamente. Para lo primero se hallan directamente los valores de los elementos que lo integran, procedimiento que únicamente se emplea para las barras de los aparatos magistrales de los Observatorios.

La determinación del valor relativo de la constante se hace por comparación con estos aparatos magistrales en el Observatorio tomado como base, haciendo una serie de observaciones de desviación, por las que se obtiene el valor del ángulo φ, y otra serie de oscilaciones, que dan el valor de su duración T, y conocido el valor de H para los magistrales de comparación durante el período de estas observaciones, podremos fácilmente deducir de la fórmula anterior, el valor del factor constante deseado.

Como después veremos y por las razones que se indicarán, la anterior fórmula teórica necesita en la práctica de ciertas correcciones, en virtud de las cuales se ha llegado a obtener el valor de la constante, por la siguiente:

$$C = \pi \sqrt{\frac{2kK}{l^3}} \left[1 - \frac{1}{2} K' H_m (1 + \operatorname{sen} \varphi_m)\right].$$

El primer factor de este valor, al que llamaremos C', es constante para todos los lugares, en tanto que el segundo, C'', varía con la latitud cuando la diferencia es suficiente para que los valores de H_m, intensidad horizontal media, y φ_m, ángulo medio de desviación, sean distintos. Si se obtiene, por tanto, el valor de C en varios Observatorios, pueden estos compararse hallando los valores correspondientes de C' que debieran ser iguales y cuyas diferencias nos darán las que existen entre los aparatos magistrales utilizados en la comparación.

Aplicando logarítmos a la anterior fórmula

$$C = C' \times C'',$$

tendremos

$$\log C = \log C' + \log C'',$$

de donde

$$\log C' = \log C - \log C'' = \log C - \log\left[1 - \frac{1}{2} K'H_m\,(1 + \operatorname{sen}\varphi_m)\right],$$

y siendo, como antes dijimos

$$H = C \times \frac{1}{T\sqrt{\operatorname{sen}\varphi}},$$

y por tanto

$$C = H \times T\sqrt{\operatorname{sen}\varphi}$$

será:

$$\log C = \log H + \log T + \frac{1}{2}\log \operatorname{sen}\varphi \,.$$

Aplicando este procedimiento para obtener en los Observatorios de Potsdam y Tortosa, los valores de *log* C' en las dos posiciones inversas de cada barra, o sea con la marca N que dijimos llevaban, encima y debajo, se han obtenido los resultados siguientes:

Potsdam.—Barra número 1.....	1911 Septiembre 10:	log C' enc = 9,843432;	log C' deb = 9,843387
	1911 Idem...... 14:	log C' enc = 9,843345;	log C' deb = 9,843337
	1911 Idem...... 16:	log C' enc = 9,843391;	log C' deb = 9,843247

log C' enc medio = 9,843309; log C' deb medio = 9,843324.

Potsdam.—Barra número 2.....	1911 Septiembre 11:	log C' enc = 9,845066;	log C' deb = 9,845011
	1911 Idem...... 13:	log C' enc = 9,845129;	log C' deb = 9,845621
	1911 Idem...... 17:	log C' enc = 9,845589;	log C' deb = 9,845081

log C' enc medio = 9,845261; log C' deb medio = 9,845238.

Potsdam.—Barra número 3.....	1911 Septiembre 17:	log C' enc = 9,841947;	log C' deb = 9,841925
	1911 Idem... .. 12:	log C' enc = 9,841924;	log C' deb = 9,841777
	1911 Idem...... 13:	log C' enc = 9,841661;	log C' deb = 9,841700

log C' enc medio = 9,841844; log C' deb medio = 9,841801.

Potsdam.—Barra número 4.....	1911 Septiembre 12:	log C' enc = 9,842681;	log C' deb = 9,843005
	1911 Idem...... 16:	log C' enc = 9,842685;	log C' deb = 9,842507
	1911 Idem...... 18:	log C' enc = 9,841916;	log C' deb = 9,842395

log C' enc medio = 9,842427; log C' deb medio = 9,842636.

Tortosa. — Barra número 1.....	1911 Octubre ... 21:	log C' enc = 9,842237;	log C' deb = 9,842194
	1911 Idem...... 26:	log C' enc = 9,842385;	log C' deb = 9,842301
	1911 Noviembre. 7:	log C' enc = 9,842501;	log C' deb = 9,842343

log C' enc medio = 9,842374; log C' deb medio = 9,842279.

Tortosa. — Barra número 2.....	1911 Octubre ... 27:	log C' enc = 9,843954;	log C' deb = 9,843895
	1911 Noviembre. 2:	log C' enc = 9,844422;	log C' deb = 9,844275
	1911 Idem...... 7:	log C' enc = 9,843929;	log C' deb = 9,843929

log C' enc medio = 9,844102; log C' deb medio = 9,844033.

Tortosa. — Barra número 3.....
1911 Octubre ... 23: log C' ene = 9,841028; log C' deb = 9,841017
1911 Idem...... 27: log C' ene = 9,840965; log C' deb = 9,841012
1911 Noviembre. 8: log C' ene = 9,840718; log C' deb = 9,840672

log C' ene medio = 9,840901; log C' deb medio = 9,840900.

Tortosa. — Barra número 4.....
1911 Octubre ... 24: log C' ene = 9,841058; log C' deb = 9,840948
1911 Idem...... 28: log C' ene = 9,841542; log C' deb = 9,841777
1911 Noviembre. 8: log C' ene = 9,841357; log C' deb = 9,841365

log C' ene medio = 9,841319; log C' deb medio = 9,841363.

RESUMEN

Barra número 1 ....
log C' ene = 9,843389; log C' deb = 9,843324, en Potsdam.
log C' ene = 9,842374; log C' deb = 9,842279, en Tortosa.
Diferencia = 0,001015; *Diferencia* = 0,001045.

Barra número 2 ....
log C' ene = 9,845261; log C' deb = 9,845238, en Potsdam.
log C' ene = 9,844102; log C' deb = 9,844033, en Tortosa.
Diferencia = 0,001159; *Diferencia* = 0,001205.

Barra número 3 ....
log C' ene = 9,841844; log C' deb = 9,841801, en Potsdam.
log C' ene = 9,840901; log C' deb = 9,840900, en Tortosa.
Diferencia = 0,000943; *Diferencia* = 0,000901.

Barra número 4 ....
log C' ene = 9,842427; log C' deb = 9,842636, en Potsdam.
log C' ene = 9,841319; log C' deb = 9,841363, en Tortosa.
Diferencia = 0,001108; *Diferencia* = 0,001273.

La comparación de los resultados obtenidos demuestra que también existe acuerdo entre estos aparatos magistrales de ambos Observatorios citados.

Las constantes de los equipajes, se determinan anualmente dos veces, al comenzar y al terminar la campaña, en el Observatorio del Ebro, tomado como base para nuestro levantamiento según repetidamente hemos dicho, obteniendo así, no sólo elementos precisos para el cálculo, sino la seguridad de que los aparatos y accesorios están completos y en buen estado para comenzar las observaciones de campo, y al final, que las efectuadas son aceptables, por lo que a ellos respecta.

Esta determinación y estudio comparativo, se hace por medio de triples observaciones, que dan, por la coincidencia de resultados, la

mayor garantía de exactitud. Los procedimientos de observación y cálculo son los mismos que más adelante detallamos.

Los firmantes de esta Memoria, hoy Observadores en el Instituto, se creen en el deber de hacer aquí constar públicamente su gratitud al sabio P. Ricardo Cirera, Director de dicho Observatorio, y a los Padres que le auxilian, por las constantes atenciones de que les hacen objeto y las facilidades y auxilios que para su trabajo obtienen de ellos.

IX

MODO DE OBSERVAR

Hecho el plan general del levantamiento magnético de España, cada una de las dos brigadas de él encargadas propone anualmente al Jefe del Negociado las estaciones que en aquella campaña debe observar, a más de las obligadas de determinación de constantes y variación secular. Estudiada por el Jefe esta propuesta, y modificada o aceptada, la lleva como ponencia al Consejo del Servicio Geográfico el Inspector correspondiente, y discutida, pasa al excelentísimo señor Director general, que dispone los trabajos que han de efectuarse, examinando estos antecedentes.

En las primeras campañas, en las que se observó la red de primer orden, y posteriormente siempre que es posible, se eligen puntos conocidos geográficamente, con objeto de no tener que hacer la determinación de sus coordenadas geográficas, labor indispensable y penosa, que debe evitarse siempre que sea posible.

Cuando no lo es, se determina directamente la latitud por alguno de los procedimientos que en las instrucciones para trabajos de campo del Instituto Geográfico figuran, empleándose generalmente el de alturas correspondientes del Sol a su paso por el meridiano.

Para el conocimiento de la longitud se utiliza, como hemos indicado, un cronómetro de tiempo medio, especialmente construído a este objeto por Paul Ditisheim, de movimiento inalterable en los transportes, cuidadosamente observado y comparado durante los meses de descanso, y siempre que es posible, usando incluso el telégrafo si ha lugar, con el magistral del Observatorio Astronómico, y que proporciona, por tanto, la hora exacta de Tortosa. Como para las observaciones, y especialmente las de oscilaciones, lleva cada brigada

otro cronómetro Dent de tiempo medio, y el equipaje tiene un teodolito astronómico, fácilmente se determina la hora local, utilizando algún procedimiento de los que en el Instituto se practican y en especial el de distancias cenitales del Sol, que por su rapidez y precisión suficiente es el más apropiado, y así por diferencia se obtiene la de longitud.

Si, como generalmente sucede, las coordenadas geográficas del lugar elegido se conocen previamente con suficiente exactitud, se prescinde de estas observaciones utilizándose los dos relojes para la seguridad de su buena marcha o movimientos no regulares posibles por la movilidad de la brigada e incómodos medios de transporte.

La otra observación astronómica indispensable es la determinación de la meridiana geográfica con la mayor exactitud, pues de ella depende, naturalmente, la medida de la declinación, que no es sino el ángulo que forman los meridianos geográfico y magnético, y como el preciso conocimiento de ésta es uno de los más importantes y prácticos fines del Mapa magnético en ejecución, se comprende la importancia de esta operación.

Para efectuarla se eligen previamente dos miras situadas a distancia conveniente, y que sean lo más permanentes posible, tales como torres de iglesias, ángulos de casas elevadas, etc., y por medio de observaciones directas del Sol, anotando el segundo exacto en que se efectúan y las lecturas de los limbos azimutal y cenital, se deduce fácilmente el azimut de las miras, operación que repetida por lo menos seis veces en cada determinación, da exactitud suficiente, dentro de la facilidad y rapidez del procedimiento, sobre todo si se procura observar el Sol en el primer vertical o sus inmediaciones, de modo que su altura cenital no sea inferior a 20 ni superior a 40 grados.

Si a estas observaciones se añade la reseña y croquis de la estación, los datos metereológicos y geológicos que puedan adquirirse y los detalles de fecha, Observador, estado absoluto del cronómetro y su movimiento medio, se habrán completado todos los elementos auxiliares precisos, pudiendo procederse a la investigación magnética propiamente dicha.

Para conocer exactamente la fuerza magnética es preciso estudiar su dirección e intensidad, puesto que su sentido nos es conocido. Para conocer la dirección son necesarias dos operaciones: la deter-

minación de la declinación, que es su azimut geográfico, y de la inclinación o ángulo que forma con su proyección sobre el horizonte.

El estudio de la intensidad se hace de modo indirecto, descomponiéndola en dos, según el sentido vertical y horizontal de su mismo plano. Determinando por observación directa esta segunda componente y el ángulo de inclinación, queda perfectamente conocida la intensidad buscada.

Estas operaciones requieren, no sólo personal apto, por sus conocimientos y práctica, para efectuarlas, sino de condiciones especiales, pues se trata de manipulaciones pesadísimas, que exigen una paciencia, constancia y hasta habilidad manual a toda prueba. Deben efectuarse con toda calma sin omitir detalle alguno, por insignificante que parezca, y cuidando mucho, sobre todo, de no hacer lectura alguna hasta que los imanes hayan llegado completamente a su posición de perfecto equilibrio, sin tomar jamás el promedio de las oscilaciones, que no coincide generalmente con ésta, ni dejar de repetir las lecturas cuantas veces como mínimo indicaremos, único medio de conseguir plena garantía de éxito. Tiene además la precipitación otro gravísimo inconveniente, del que pronto se percata el Observador, y es el de que siendo los aparatos empleados delicadísimos y de difícil manejo, fácilmente se inutilizan si no se procede con exquisitos cuidados, sobre todo en lo que se refiere al manejo de los imanes y a su colocación. El golpe o descuido más insignificante, rompe fácilmente la fibra del declinómetro o de la caja de oscilaciones, pues su diámetro pequeñísimo dado el peso de los imanes que ha de sostener, hace que cualquier movimiento brusco la quiebre. Algo análogo ocurre con los muñones de las agujas de inclinación.

Deben pues hacerse con la mayor calma y cuidado, todas y cada una de las operaciones que a continuación detallamos, principiando por despojarse antes de comenzarlas, de todo cuanto pueda influir en la operación (navajas, llaves, relojes, etc.)

Declinación.—Colocado el trípode a altura conveniente para poder observar, se atornilla la base común montando sobre ella la brújula para conocer aproximadamente el meridiano magnético.

Aseguradas éstas se procede a nivelar la base, valiéndose del nivel que a este objeto lleva el equipaje, y conseguido, se desmonta la brújula y coloca en su lugar el teodolito astronómico para hacer las observaciones correspondientes a que antes nos hemos referido.

Terminadas, se monta el declinómetro de fibra, principiando por asegurarse de que ésta carece de torsión, para lo que se suspende primeramente el peso esférico que va en el equipaje, y dejando libre la fibra, aflojando el freno, se espera a que cesen las oscilaciones y ver si la referencia que el peso tiene coincide con el plano vertical del eje del aparato; si no es así, se corrige de torsión aflojando el tornillo que sujeta la cabeza, moviendo ésta en sentido conveniente y esperando nuevamente el equilibrio. Por medio de tanteos se llega al fin deseado, y una vez conseguido, apretando el tornillo de que hablamos y aflojando otros dos que hay en la cabeza, debajo del mismo, se mueve la graduación hasta hacer coincidir el cero con el trazo de referencia.

Otra operación preliminar es la de mover la fibra en sentido vertical, hasta obtener la altura conveniente para la observación, y ello se consigue desatornillando el sombrerete que cubre la cabeza y moviendo la tuerca de que pende la fibra, en forma de elevarla o descenderla, según convenga.

Puesto ya el declinómetro en estación, se visan las miras, haciéndolas coincidir con los hilos del retículo, marchando siempre en el mismo sentido y anotando las lecturas del limbo azimutal de la base, repitiéndose la observación haciendo marchar el aparato en sentido contrario. Se coloca después el anteojo en la dirección aproximada que se obtuvo para el meridiano magnético, y se suspende del estribo la barra fuertemente imantada, que, como hemos dicho, tiene grabado el número menor, cuidando de que la letra *N*, que también lleva grabada, quede hacia la parte superior, procediendo después a iluminar el interior del anteojo por medio del espejo que en su exterior existe y hacer coincidir la estrecha faja que en la imagen reflejada por el espejo que tiene en su interior el imán marcan los hilos centrales del retículo, con cada uno de los hilos extremos de éste, anotando la hora exacta de las coincidencias y las lecturas del limbo de la base. Se invierte el imán colocando hacia abajo la *N* y se repite exactamente la misma operación, que nuevamente habrá de efectuarse después de dar una torsión a la fibra, por medio de la parte móvil de la cabeza de 15 grados sucesivamente en ambos sentidos, volviendo a colocarla en el cero e invirtiendo de nuevo el imán para repetirla en su posición primitiva.

Haciendo exactamente las mismas observaciones con la barra de

Mira	Obn.	o	d'	d'
2	4			
	3/2			
	1			
1	4			
	3/2			
	1			
1	1			
	2/3			
	4			
2	1			
	2/3			
	4			

Estación ....

Declinación

Dia .... de .... de ....

Cr. .... E.A ....

Mira	Obn.	o	d'	d'
1	1			
	2/3			
	4			
2	1			
	2/3			
	4			
2	4			
	3/2			
	1			
1	4			
	3/2			
	1			

B.D.

Obn.	h	m	o	d'	d'
N.E					
"					
N.D					
"					
+15°					
"					
−15°					
"					
N.D.					
"					
N.E.					
"					

B.T.

Obn.	h	m	o	d'	d'
N.E.					
"					
N.D.					
"					
+15°					
"					
−15°					
"					
N.D.					
"					
N.E					
"					

número menor y débilmente imantada, para obtener los datos necesarios para la corrección de torsión, y volviendo a visar las miras en sentido inverso al anterior, habremos completado las observaciones necesarias para el cálculo de la declinación, cosa que, así explicada parece breve, pero que en la práctica consume algunas horas de cuidadoso trabajo.

Como importantísima advertencia, común al declinómetro y a la caja de oscilaciones, debe hacerse la de no olvidarse nunca, antes de tocar el aparato, de apretar con el freno el estribo que pende de la fibra, para evitar la rotura de ésta, pues no nos cansaremos de decir, por habérnoslo enseñado la práctica, que se quiebra con inconcebible facilidad, y la operación de sustituirla y corregir su torsión es pesadísima y casi imposible en el campo.

Inclinación.—Como dado el tiempo y atención que cada una de las observaciones requiere es muy penoso hacer más de una por día, hay que empezar por montar y nivelar el trípode y la base como antes dijimos, colocando después sobre ésta el declinómetro para determinar exactamente el meridiano magnético, en cuyo plano ha de colocarse precisamente el inclinómetro. Se consigue utilizando la barra fuertemente imantada, haciendo coincidir exactamente con el retículo su imagen reflejada por el espejo, leyendo el limbo, invirtiendo el imán y repitiendo la operación, y así el promedio de las dos lecturas, aumentado y disminuído en 90 grados, nos dará la dirección buscada con la tapa de cristal del inclinómetro mirando al Este y al Oeste.

Montado este aparato en la primera posición, después de retirar el declinómetro, se toma una de las agujas con las pinzas, y colocándola en la caja de madera de que hablamos, se inmanta por medio de los imanes planos que lleva el equipaje, apoyando en su centro los polos opuestos de estos, con una inclinación de unos 30 grados, y corriéndolos repetidamente hasta los extremos. Conseguido, se ponen los muñones gruesos de la aguja descansando en las horquillas que antes dijimos tiene en su interior el aparato, y cerrada la tapa de cristal de éste se descienden las horquillas, dejando descansar en las ágatas los muñones finos de la aguja, que comenzará a oscilar en el plano vertical hasta llegar a la posición de equilibrio, en cuyo momento con los nonius se leen sobre el limbo las graduaciones que señalen sus extremos, después de anotar la hora en que se empieza

la observación. Esta se repite seis veces en cada posición elevando la aguja por medio de la palanca exterior que mueve las horquillas y descendiéndola de nuevo hasta dejarla descansar en las ágatas.

Haciendo girar el inclinómetro 180 grados, se repiten las lecturas, que deben hacerse nuevamente con el aparato en las dos mismas posiciones, tras de cambiar la cara de la aguja que mira al exterior.

Terminadas estas operaciones se imanta nuevamente la aguja, pero cambiando sus polos, y repitiendo después todas y cada una de estas operaciones, habremos hecho la primera medida de la inclinación.

La segunda se hace procediendo con la otra aguja exactamente en la misma forma, con lo que se da por terminada esta observación.

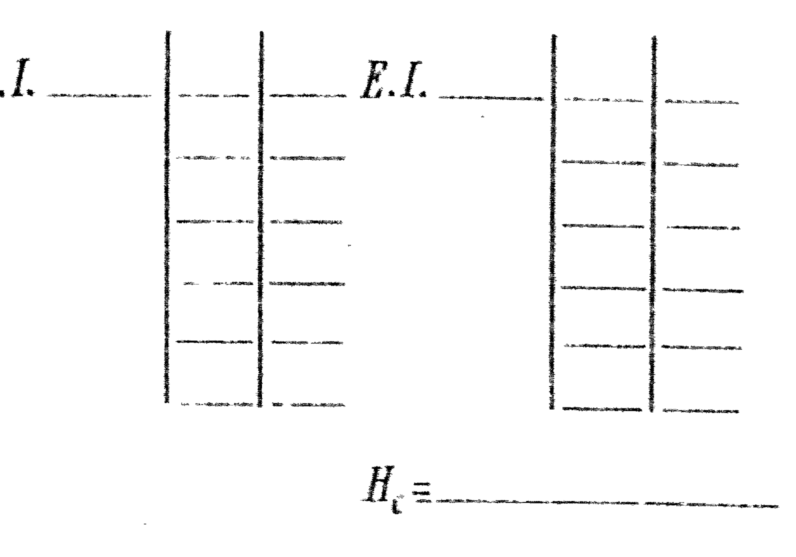
Habremos así medido el ángulo que la fuerza magnética forma con la horizontal en el plano del meridiano magnético, pues hemos dejado a la aguja moverse libremente en dicho plano alrededor del eje horizontal que pasa por su centro de gravedad.

Es este procedimiento el más pesado y costoso, pero también el más exacto, pues con él se eliminan las posibles causas de error que provengan de defectos de construcción de la aguja, tales como el que no sea perpendicular a su plano el eje de sus muñones, que no coincidan sus ejes magnético y de figura, y el de oscilación con su centro de gravedad, que se corrigen, respectivamente, por la inversión de las caras, por la lectura con ambas puntas y por el cambio de polaridad, en tanto que con los giros de 180 grados y los seis pares de lecturas en cada posición, se corrigen la falta de horizontabilidad del plano de apoyo de las ágatas, la de perpendicularidad del eje de muñones y el meridiano magnético, y los defectos de observación.

Otros dos procedimientos más rápidos y sencillos, pero menos recomendables, son determinar la inclinación aparente de un azimut dado o la de dos azimutes rectangulares, deduciendo por el cálculo la inclinación verdadera.

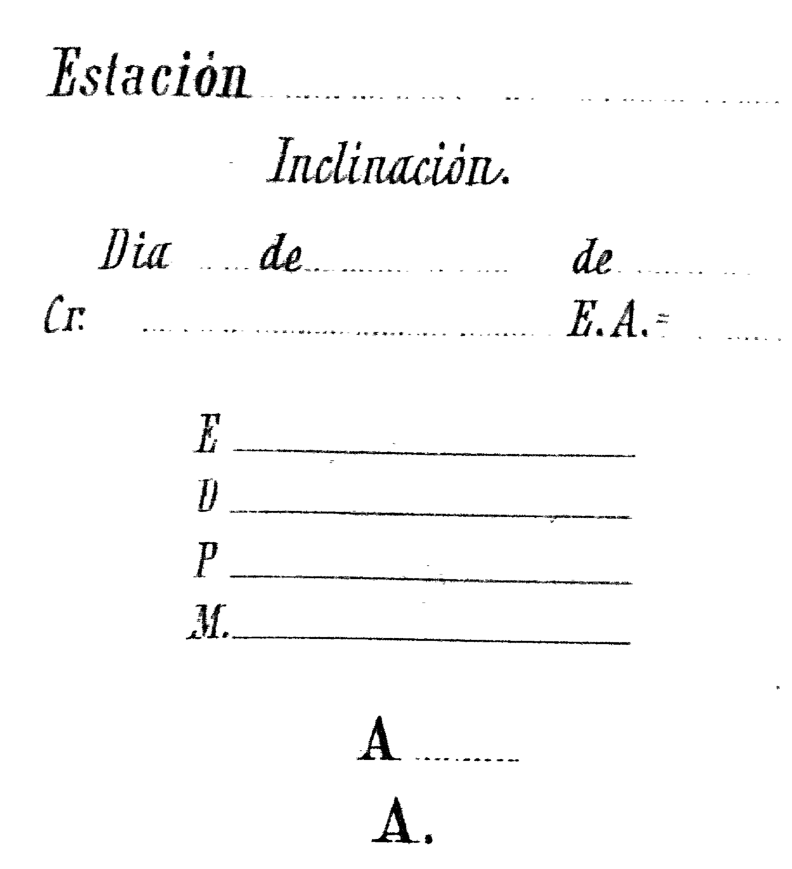
Intensidad horizontal.—Ya hemos dicho puede determinarse de modo relativo y absoluto, y que el primer método rápido, sólo en contados casos debe aplicarse. El procedimiento de observación es común en las desviaciones y determina directamente el cociente de la componente buscada y el momento magnético del imán utilizado.

El método universalmente adoptado se debe a Gauss, y proporciona el valor del ángulo de desviación, o sea el que un imán suspen-



O.I. ______ E.I. ______

H_c = ______



Estación ....

Inclinación.

Dia ...... *de* ...... *de* ......

Cr. ...... *E.A.* = ...

E ______

D ______

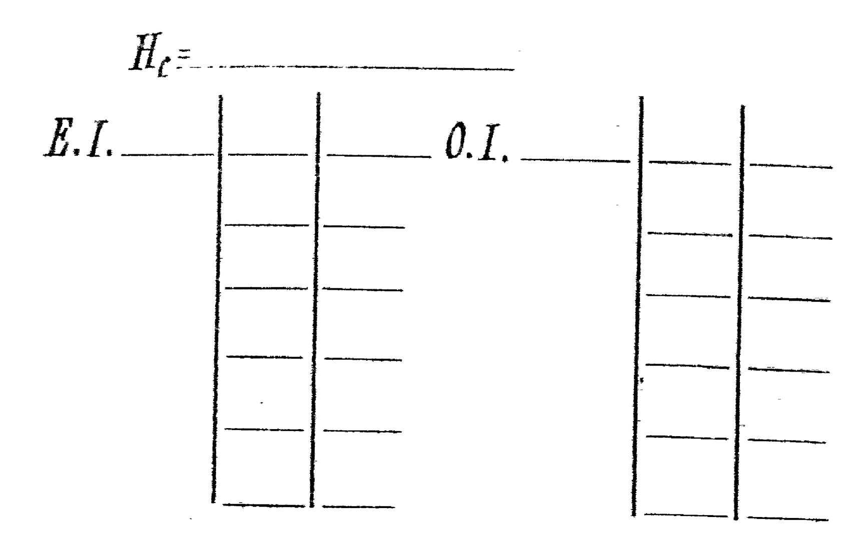
P ______

M. ______

A ......

A.

H_c = ______



E.I. ______ O.I. ______

O.II. ______ E.II. ______

H_c = ______

B.

H_c = ______

E.II. ______ O.II. ______

O.I. ______ E.I. ______

H_c = ______

A ....

A.

H_c = ______

E.I. ______ O.I. ______

O.II. ______ E.II. ______

H_c = ______

B.

H_c = ______

E.II. ______ O.II. ______

dido y que puede girar libremente forma consigo mismo, según esté o no sometido a la influencia de otro cuyo momento magnético y distancia conocemos, valor angular que es la única incógnita en la fórmula que da el cociente dicho.

Para medirlo, una vez montada y nivelada la base, a la que previamente se atornillan los dos soportes acanalados y los dos tubos de aluminio que los preservan de que hemos hablado en el lugar correspondiente, se coloca en su plataforma el declinómetro, colgando del estribo la barra fuertemente imantada, con la *N* hacia arriba. Haciendo la coincidencia de la faja central de la imagen del retículo con los hilos extremos de éste, y las anotaciones correspondientes (que se designan v_0) de hora y lecturas de los microscopios, tendremos la dirección de uno de los dos lados del ángulo de desviación buscado.

Tomando después uno de los imanes deflectores se coloca en el soporte acanalado de la derecha, en el lugar marcado por el tope, con la *N* encima y hacia la derecha también, introduciendo en su interior, a través del tubo y el tope, el termómetro que ha de medir su temperatura, y en el otro brazo y posición simétrica el contrapeso correspondiente, cilindro de cobre de que ya hablamos.

El imán del interior del declinómetro comenzará a oscilar y adoptará nueva posición de equilibrio, formando con la anterior, bajo la influencia del deflector, el ángulo de desviación, que podremos medir directamente con los microscopios después de hacer las mismas coincidencias del retículo y su imagen. Al mismo tiempo que estas lecturas deben anotarse (con la designación v_1) los tiempos y temperaturas señalados por el termómetro, operaciones que se repiten exactamente (v_2) después de poner el imán deflector donde estaba el contrapeso y éste en el lugar de aquél.

Terminadas estas lecturas se invierte la posición del imán deflector de modo que, si antes estaba la *N* hacia el Este, quede mirando al Oeste, con lo que influenciará el declinómetro con el polo opuesto y en sentido contrario, y así se hacen otras dos lecturas de microscopios, termómetro y reloj (v_3) que se repiten con nuevo cambio de imán y contrapeso (v_4), con lo que se termina la primera parte de la observación.

Es la segunda exactamente igual a la anterior, invirtiendo el orden y el imán deflector, es decir, que éste tendrá la *N* siempre hacia abajo, mirando al Oeste y colocado en el brazo derecho primero (v_4)

y en el izquierdo después (v_3), en este mismo se invierte para que quede hacia el Este (v_2), y por fin se cambia con el contrapeso en esta última posición (v_1). Se termina la operación haciendo nuevas lecturas con el declinómetro solamente, sin la influencia del deflector (v_0), obteniéndose ocho valores dobles del ángulo de desviación.

Cuando se hacen observaciones de oscilación, que es lo corriente y en los levantamientos generales ocurre siempre, deben hacerse entre las dos series o partes de las de desviación, con objeto de unificar la temperatura.

Con las observaciones de oscilación se determina el tiempo, T, que tarda en verificarse la de la barra imantada suspendida libremente, como un péndulo, y sometida a la doble acción de la gravedad y la fuerza magnética terrestre. Es T la única incógnita que figura en la fórmula que da el producto de la intensidad horizontal por el momento magnético, producto que así nos será conocido, y teniendo por las desviaciones el cociente de ambas cantidades, claro es que tendremos los valores de ellas.

Como dada la movilidad de las brigadas de observación y las diferencias de temperatura, sobre todo en España, es de temer alguna variación en el momento magnético de las barras, deben siempre hacerse, y se hacen, las observaciones de oscilación que eliminan totalmente esta posible causa de error. Otras cuatro pueden presentarse, a saber: inducción terrestre, exceso de amplitud de las oscilaciones, variación de temperatura y torsión del hilo, que se eliminan o estudian, multiplicando las observaciones, limitando y anotando la amplitud de la oscilación en el momento en que se observa, tomando la temperatura para introducir la corrección debida, asegurándose de que no hay gran torsión en el hilo de suspensión y estudiando el influjo de la remanente.

Montada sobre la base nivelada la caja de oscilaciones, se coloca en el soporte que lleva interiormente el peso cilíndrico que tiene a este objeto el equipaje, elevándolo después hasta poder colgar su corchete del estribo de suspensión, conseguido lo cual se hace descender el soporte, y aflojando el freno se deja libre la fibra, con lo que el peso oscilará libremente hasta adoptar la posición de equilibrio. Viendo entonces por el anteojo si la línea de referencia del retículo coincide con el cero de la escala graduada reflejada por el espejo del estribo, después de dar a éste la altura conveniente del mismo modo

Estación ....

Intensidad Horizontal.

Dia ...... *de* .... *de* ....

Cr .... *E. A* ....

B. O. ....

N. E.

Obn.	*h*	*m*	*o*	*d'*	*d'*	*o*
v_0						
"						
v_1						
"						
v_2						
"						
v_3						
"						
v_4						
"						

N. D.

Obn.	*h*	*m*	*o*	*d'*	*d'*	*o*
v_4						
"						
v_3						
"						
v_2						
"						
v_1						
"						
v_0						
"						

Torsión

T	*h*	*m*	*d*
0			
+180			
−180			
+180			
−180			
0			

N. E.

N.°	h	m	s	h	m	s	100 T.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							

	h	m	s
H_{21}			
H_1			
I			
$\frac{1}{3}$			
$\frac{2}{3}$			
H_{100}			

Ap ______

Tp ______

Am ______

Tm ______

Af ______

Tf ______

N. D.

N.°	h	m	s	h	m	s	100 T.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							

	h	m	s
H_{21}			
H_1			
I			
$\frac{1}{3}$			
$\frac{2}{3}$			
H_{100}			

Ap ______

Tp ______

Am ______

Tm ______

Af ______

Tf ______

que en el declinómetro, se procede análogamente que para éste explicamos al tratar de corregir su torsión.

Terminada esta corrección se descuelga el peso, sustituyéndolo por el imán deflector, con la *N* encima y al Norte, cuidando mucho ahora y siempre de apretar antes el freno del estribo y utilizar el soporte para evitar la ruptura de la fibra. Dejando ésta en libertad, comenzarán las oscilaciones del imán, cuya amplitud se puede amortiguar utilizando el forro de piel del soporte, llegando por fin a la posición de equilibrio, en cuyo momento se hace coincidir la referencia del retículo, con el cero de la escala reflejada, apuntando la hora. Dando después por medio de la cabeza una torsión al hilo de 180 grados en un sentido, se lee la graduación en la escala, una vez llegado el imán al equilibrio nuevamente y se anota la hora, operación que se repite dando la misma torsión en sentido inverso, volviendo a la anterior y a la contraria, y por fin a la primitiva, en que no existe torsión voluntaria, con lo que habremos obtenido datos suficientes para introducir en el cálculo la corrección correspondiente a la pequeña torsión que aún puede conservar la fibra.

Se imprime después al imán, por medio del soporte, movimiento oscilatorio, y cuando la amplitud de éste no excede de las 20 divisiones de la escala se comienza la observación propiamente dicha, principiando por anotar su amplitud en ambos sentidos, medida sobre dicha escala, y la temperatura señalada por el termómetro introducido en el interior de la caja a través del cilindro de su cara superior. El Observador, que tiene que tener gran práctica, pondrá el cronómetro próximo, para oirle batir los medios segundos y, contándolos, esperará a que pase el cero de la escala frente a la referencia del retículo, en cuyo momento anotará la décima de segundo en que se verifica el paso, y contando siempre los segundos dejará pasar otras dos veces el cero por la referencia para anotar nuevamente la décima de segundo del tercer paso, y así sucesivamente continuará hasta 21 lecturas, anotando entonces nuevamente la amplitud y temperatura, después de haber tomado 21 tiempos en sesenta oscilaciones.

Fácilmente se calcula con estos datos el paso del cero en la oscilación centésima, en la que debe comenzarse de nuevo la observación, anotando como antes el tiempo, en décimas de segundo, de cada tercer paso del cero hasta 21 veces, con lo que, apuntando de nuevo

la amplitud y temperatura, se habrá terminado la primera serie de observaciones.

Se hace la segunda exactamente igual, pero invirtiendo el imán de modo que la *N* quede debajo, terminando así las observaciones de oscilación, que completan las de desviación de que antes nos ocupamos.

En el equipaje figuran dos imanes deflectores al objeto de hacer con cada uno de ellos todas las observaciones que acabamos de describir, que se comprueban y nos dan la medida de la fuerza, cuyo valor, con estos datos, se calcula en γ (ya hemos indicado antes que una γ es la cienmilésima de una dyna y la equivalencia de todas las unidades empleadas) con una aproximación de diez milésimas.

Todas las que acabamos de reseñar son las observaciones que es necesario y suficiente hacer en cada estación, salvo en las de variación secular, en que deben hacerse dos series completas de ellas, pues tratándose de medir cantidades muy pequeñas es preciso rodearse de las mayores garantías posibles.

Para la mejor comprensión de las anteriores explicaciones, acompañamos a cada una de ellas el impreso correspondiente que en el Instituto utilizamos. Todos estos impresos han sido proyectados por los Ingenieros Fort y Gil.

Las observaciones en España se hacen por dos brigadas, al mando de los dos Ingenieros Geógrafos que suscriben esta Memoria (1), pues aunque en un principio se indicó la conveniencia de que fueran tres los Observadores, era contando con el establecimiento de la estación-Observatorio Central (aún en proyecto, como hemos dicho, si bien parece que ahora va en vías de realización bien necesaria), en cuyo establecimiento tendría y tendrá que estar constantemente uno de ellos dedicado a la determinación constante de las variaciones correspondientes a los tres elementos; trabajo de tal importancia, que es preciso llevarlo por duplicado con las dos clases de variómetros (registradores y de lectura directa), comprobándolo con las determinaciones de valores absolutos, como dijimos en el capítulo correspondiente.

Para hablar del tiempo necesario para los trabajos en cada estación, nos parece lo más discreto referirnos al párrafo correspon-

(1) El ilustrado Ingeniero Geógrafo y Oficial de la Armada, D. Ignacio Fort, que de modo tan plausible contribuyó a estos trabajos, presta actualmente sus servicios en el Instituto Oceanográfico.

diente de la documentada Memoria presentada por los Sres. Cubillo y Capilla, cuyo trabajo, precursor de todos los posteriores en España, y fundamento de cuantos se han llevado y llevan a cabo, incluyendo este modesto escrito, nunca será suficientemente elogiado. En él decían, y la práctica lo ha confirmado plenamente, que todas estas observaciones pueden realizarse en cuatro días, a los que deben agregarse otros dos o tres por causa de viajes, elección de lugar, instalación en el mismo, montura de aparatos, etc., etc., de modo que la duración de una estación, en circunstancias normales, es de una semana para las ordinarias; semana y media para las de variación secular (ocho días de observación), y dos semanas (doce días de observación) para la determinación de constantes en el Obsevatorio base, tiempos que pueden tomarse como promedio, pues si bien la práctica de los Observadores y la facilidad de comunicaciones puede en algunos casos disminuirlos, los aumentarán en otros los accidentes meteorológicos (lluvias, tormentas, etc.), los naturales en toda serie prolongada de observaciones de campo y los inevitables en los transportes.

INSTITUTO GEOGRÁFICO y ESTADÍSTICO — TRABAJOS DE MAGNETISMO

$(BD) =$ ....

$BT =$ ....

$a = (BD) - BT =$ ....

$g =$ ....

$K =$ ....

$K\text{-}g =$ ....

$\theta =$ ....

$a.\theta =$ ....

$BD =$ ....

.... de .... de 191....

El Ingeniero Geógrafo

	Mira 1		Mira 2	
	°	'	°	'
Promedios				
Azimut				
NV				
BD				
(D)				
D				
C				
D_{12}				
P_m Observatorio de				
Declinación local				

X

CÁLCULO DE LAS OBSERVACIONES

Declinación.—En realidad, el cálculo se limita a las correcciones que es preciso introducir en las medidas de este ángulo hechas directamente en el campo, puesto que, como hemos visto, en el limbo azimutal de la base, se leyeron las direcciones de las miras, cuyo azimut geográfico se determinó previamente, y del meridiano magnético señalado por el imán fuerte del declinómetro y su diferencia nos da un ángulo que combinado con dicho azimut, proporciona el buscado.

Con la inversión del imán, se corrige la colimación; con el movimiento de 15 grados en ambos sentidos impreso a la cabeza y la observación con la barra débilmente imantada, se corrige la torsión, y con la multiplicidad de lecturas, cuyo promedio se utiliza, los defectos del aparato y el Observador. Si a esto se añade la corrección correspondiente a la variación comprobada por los registradores de la estación base durante el tiempo de la observación en el campo, se tendrá el valor deseado.

La corrección de torsión viene dada por la fórmula:

$$\pm \frac{g}{k-g} \times a,$$

en la que g es la desviación observada con la barra fuertemente imantada al girar la cabeza $\pm 15°$,

k es la desviación observada con la barra débilmente imantada al girarla igualmente $\pm 15°$ y

α la diferencia entre los promedios de las direcciones observadas con las barras fuerte y débilmente imantadas.

La corrección de variación la proporciona, con su signo, la estación base.

Acompañamos el estado de cálculo empleado en el Instituto Geográfico.

Inclinación.—Este elemento se mide también directamente en el campo, limitándose el calculador a obtener el promedio de las lecturas efectuadas combinadas de modo conveniente, corregirlo sumándole algebraicamente la constante de la aguja empleada y hallar la diferencia entre este valor y el suministrado por el Observatorio base para la inclinación en el tiempo medio de la observación de campo, diferencia que será la de inclinación magnética que existe entre esta estación base y la observada, y agregándola a la inclinación media de la primera, se obtendrá la buscada.

También unimos el correspondiente modelo, que para el cálculo de la observación se utiliza en el Instituto Geográfico.

Intensidad horizontal.—En el capítulo «Determinación de las constantes», hemos dicho cómo se determina la de los imanes empleados, necesaria para el cálculo de esta componente por la fórmula de Lamont, que allí dimos a conocer, y en la que además de esa constante entran solamente otras dos cantidades, medidas como antes explicamos directamente en el campo, que son *T* duración de una oscilación y φ ángulo de desviación. También indicamos que esta fórmula teórica necesita ciertas correcciones, hijas de la experiencia, y debidas a la torsión de la fibra, a la inducción terrestre, a la amplitud de las oscilaciones, a la influencia de la temperatura en el momento magnético y dimensiones de los imanes y aparatos, a la desigual distribución del magnetismo en las barras empleadas en la observación, a las variaciones del magnetismo terrestre durante el tiempo en ellas empleado y a la variación o marcha del cronómetro utilizado durante ese mismo lapso de tiempo. También indicamos en el capítulo «Modo de observar», cómo ha de hacerse para eliminar estas causas de error o estudiarlas para poder introducirlas en el cálculo.

Las fórmulas teóricas de Lamont, que dan el producto y cociente del momento magnético del imán *M* por el valor buscado de la componente horizontal de la fuerza magnética terrestre *H*, son:

$$M.H = \frac{\pi^2 K}{T^2},$$

$$\frac{M}{H} = \frac{l^3 \operatorname{sen} \varphi}{2k},$$

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO — TRABAJOS DE MAGNETISMO

.... BRIGADA

Estación .... Equipaje magnético núm. .... Cr. ....

CÁLCULO DE LA INCLINACIÓN

Día .... *Observador* .... *EA* ....

AGUJA	TIEMPO OFICIAL	PROMEDIO DE LECTURAS	C.	Σ	OBSERVATORIO DE	DIFERENCIA
		° ′	′	° ′	° ′	° ′
......	*De* ...... *a*					
......	*De* ...... *a*					
					Promedio	
					P_m *Observatorio de*	
					Inclinación local en	

.... *de* .... *de 191*....

EL INGENIERO GEÓGRAFO,

que divididas miembro a miembro dan:

$$H = \pi \sqrt{\frac{2\,k\,K}{l^3}} \times \frac{1}{T\sqrt{\text{sen}\,\varphi}} = C \times \frac{1}{T\sqrt{\text{sen}\,\varphi}},$$

que es el valor teórico mencionado en el capítulo octavo.

La introducción en las dos ecuaciones fundamentales anteriores, de las correcciones antes mencionadas, da por resultado las siguientes:

$$M.H = \frac{\pi^2 K_0 (1 + 2\,\beta' t)}{T^2 (1 + \theta)(1 - \alpha t)\left[1 + \frac{2\,\Delta s}{86400}\right](1 + k' H_m)(1 + \varepsilon' \Delta n')\left[1 - 2 \text{ sen } 1^0 \frac{h^2}{16}\right]}''$$

$$\frac{M}{H} = \frac{l_0^3 .\, \text{sen}\,\varphi \cdot (1 + 3\,\beta t')(1 + \varepsilon' \Delta n'_1)}{2\,k\,(1 + \alpha t')(1 - k' H_m \text{ sen}\,\varphi_m)}''$$

Las nuevas cantidades que en ellas entran son:

l_0 distancia entre los imanes desviante y desviado a la temperatura normal.

β coeficiente de dilatación del latón $= 190 . 10^{-7}$

β' coeficiente de dilatación del acero $= 105 . 10^{-7}$

α coeficiente de temperatura de la barra.

t y t' temperaturas del imán en las oscilaciones y desviaciones respectivamente.

ε' valor de una división de la escala del variómetro correspondiente de la estación base, expresado en partes de la intensidad horizontal; es decir $\frac{\omega}{H}$, siendo ω el valor en γ de una división del bifilar y H la intensidad media actual.

$\Delta n'$ y $\Delta n'_1$ los valores sobre el normal de las variaciones de la componente horizontal, suministrados por la estación base.

H_m valor medio de la componente horizontal, calculado aproximadamente.

φ_m valor medio del ángulo de desviación calculado aproximadamente.

K_0 momento de inercia del imán desviante a la temperatura normal.

k' coeficiente de inducción del imán empleado.

Δs movimiento diario del cronómetro utilizado en la investigación de la duración de las oscilaciones.

h magnitud en grados del semiarco de las oscilaciones, $\left(-2\,(\text{sen } 1^\circ)^2 \frac{h^2}{16}\right.$ sirve para reducir la duración observada de las oscilaciones, a la que resultaría siendo el arco de oscilación infinitamente pequeño).

θ relación de torsión $\frac{D}{MH} = \frac{\delta}{360 - \delta}$, en que D es el momento de torsión de la suspensión, y δ el ángulo de desviación observado para un giro de 360° de la cabeza de torsión.

φ ángulo de desviación corregido de las variaciones de declinación ($\Delta\delta$) y de la desigualdad de las distancias a que se coloca el imán desviante $[A \cdot (\Delta\varphi)^2.]$

T duración de una oscilación simple.

$k = 1 + \frac{p}{l^2} + \frac{q}{l^4}$ la llamada constante de desviación.

Para hallar el valor buscado H, corregido de todos los errores mencionados, dividiremos, como antes, las dos ecuaciones anteriores, obteniendo (después de ordenar las correcciones correspondientes a T y las que corresponden a φ, de reunir todas las restantes magnitudes, de simplificar el resultado, para lo cual se tendrá en cuenta que los valores entre corchetes de las dos fórmulas anteriores difieren muy poco de la unidad, y de aplicar logaritmos), la siguiente fórmula:

$$\log H = \log\left[\pi\sqrt{\frac{2\,kK_0}{l_0^3}} \cdot \left(1 - \frac{1}{2}\,k'\,H_m\,(1 + \text{sen } \varphi_m)\right)\right] -$$
$$-\left[\log T - 0{,}2171\,(\alpha + 2\beta')\,t + 0{,}2171\,\varepsilon'\Delta n'_1 + 0{,}2171.\theta - 0{,}000083\,h^2 + 0{,}4343\,\frac{\Delta s}{86\,400}\right] -$$
$$-\left[\frac{1}{2}\log \text{sen } \varphi + 0{,}2171\,(\alpha - 3\beta)\,t' + 0{,}2171\,\varepsilon'\Delta n'\right]$$

o bien, llamando T_0 y φ_0 a los valores corregidos de T y φ:

$$\log H = \log C - \log T_0 - \frac{1}{2}\log \text{sen } \varphi_0 .$$

La expresión C es constante para largos espacios de tiempo, porque la única variable que contiene, que es la corrección debida a la inducción terrestre, no varía sino muy lentamente debido a la pequeñez de k'.

Para el cáculo de H, con arreglo a esta fórmula, se utilizan los dos estados que se acompañan. En el primero de ellos, que es preparato-

INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO

$(h^o)^z =$ ....

$t_0 =$ ...., $\Delta n_0 =$ ....

$(h^o)^z =$ ....

$t_0 =$ .... $\Delta n_0 =$ ....

Tiempo oficial		Torsión	Lecturas	Δn	Lecturas corregidas	Sumas	δ^d	δ^o
h	m	o	d	·	d	d	d	o
$\theta =$								

.... de .... de 191..

El Ingeniero Geógrafo

rio, se consignan los elementos que provienen de las operaciones de campo, y se les somete a ciertas transformaciones y correcciones que los convierten en las variables de la fórmula.

Una de estas correcciones es la de las variaciones de la declinación durante la observación de las desviaciones, pues en la observación de las oscilaciones se elimina esa variación observando un número impar de pasos.

Otra es la corrección $A \cdot (\Delta \varphi)^2$ que es preciso restar del ángulo φ a causa de la desigualdad de los valores v_1 y v_3, y de los v_2 y v_4. Esta desigualdad proviene de no ser en la práctica rigurosamente iguales las distancias a que se coloca el imán deflector sobre los brazos del magnetómetro. La expresión $A \cdot (\Delta \varphi)^2$ es una abreviación del producto $A \cdot [(\Delta \varphi_1)^2 + (\Delta \varphi_2)^2]$ en que $\Delta \varphi_1$ y $\Delta \varphi_2$ son las diferencias de los promedios de $v_2 - v_1$ y $v_4 - v_3$, tomadas siempre como positivas, y expresadas en grados. Cuanto al factor A, he aquí sus valores para ángulos de desviación comprendidos antre 30° y 50°:

φ^0	A	φ^0	A	φ^0	A	φ^0	A
30	— 0,189	36	— 0,168	41	— 0,157	46	— 0,152
31	— 0,185	37	— 0,165	42	— 0,156	47	— 0,152
32	— 0,181	38	— 0,163	43	— 0,155	48	— 0,151
33	— 0,177	39	— 0,161	44	— 0,154	49	— 0,151
34	— 0,174	40	— 0,159	45	— 0,153	50	— 0,151
35	— 0,170						

Las demás transformaciones se comprenden fácilmente.

En el segundo estado de cálculo, que es el final, se combinan las variables con sus respectivos coeficientes, obteniéndose las correcciones de log T y $\frac{1}{2}$ log sen φ que dan el segundo y tercer término de log H.

Tal como se han efectuado en Potsdam las determinaciones de los coeficientes de temperatura de los imanes deflectores, o sea elevando la temperatura de todo el pabellón, los resultados obtenidos dan $(\alpha + 3\beta)$ y no α solamente. Los valores que se obtuvieron para los cuatro imanes deflectores de los dos equipajes, son los siguientes:

Imán 1..................	$\alpha + 3\beta = -0{,}00071176$	C. G. S.
íd. 2..................	$\alpha + 3\beta = -0{,}00081267$	»
íd. 3..................	$\alpha + 3\beta = -0{,}00087549$	»
íd. 4..................	$\alpha + 3\beta = -0{,}00067708$	»

Utilizando estos valores se obtienen para 0,2171 ($\alpha + 3 \beta$), siendo 0,2171 el semimódulo del logaritmo, los siguientes:

Imán 1	154,5
Íd. 2	176,4
Íd. 3	190,1
Íd. 4	147,0

con los cuales se debe efectuar el cálculo.

Los valores obtenidos para — 0,2171 ($\alpha + 2 \beta'$) son:

Imán 1	— 146,7
Íd. 2	— 168,6
Íd. 3	— 182,2
Íd. 4	— 139,2

Los demás coeficientes que aparecen en el estado, sólo son una transformación de los correspondientes de la fórmula.

XI

ESTADO ACTUAL DE LOS TRABAJOS

En Mayo de 1912 dieron principio los trabajos de campo del Mapa magnético, con el propósito, de acuerdo con el proyecto aprobado, de realizarlos en un período máximo de diez años, para lo cual era preciso que los períodos anuales de observación fueran muy largos sin tomarse los Ingenieros encargados de este servicio más que uno o dos meses de descanso por año, pues ya hemos dicho cuánto conviene a la exactitud de una carta magnética disminuir en lo posible el tiempo invertido en su ejecución, y como por otra parte las excelentes condiciones climatológicas del Sur y Levante de España permiten efectuar trabajos de campo, aun en los meses duros del invierno, podría llegarse a los diez meses de observación necesarios para cumplir este propósito.

Así, debió haberse observado en los dos primeros años una red compuesta de 120 estaciones, a razón de 30 por brigada y año, continuando después con la red de segundo orden hasta completar las 500 estaciones proyectadas, observando a razón de 32 por brigada y año, durante seis. Los dos años restantes se utilizarían en rectificar los errores provinentes de perturbaciones accidentales, quedando de este modo terminado el estudio magnético de España en el plazo indicado, durante el cual se admiten como perfectamente comparables las observaciones.

Las dificultades inherentes al funcionamiento de nuestra máquina administrativa hicieron que este plan no se realizase plenamente, observándose 37 estaciones en el año 1912, número que fué disminuyendo en años sucesivos, reduciéndose a 32 en 1913, 25 en 1914, y 23 en 1915, en que se dió por terminada la red de primer orden con 117 estaciones, observadas en cuatro años en vez de los dos presupuestos.

Los resultados obtenidos en el cálculo de la observación de esta red de primer orden, dispuestos por orden cronológico, son los siguientes:

Número..	ESTACIONES	Observador.	Fechas de la observación.	Valores obtenidos de la observación.					
				D			I		H
				°	′		°	′	γ
1	Villanueva y Geltrú.........	Gil...	Mayo 1912..	12	46.5	W	58	3.5	23153
2	Tarragona.................	Fort..	Idem 1912..	12	56.0	»	57	56.6	23234
3	Mataró.....................	Gil...	Jun. 1912..	12	30.4	»	58	14.7	23061
4	Mora de Ebro..............	Fort..	Idem 1912..	13	1.4	»	58	8.5	23211
5	Gerona......................	Gil...	Idem 1912..	13	26.1	»	58	39.3	22860
6	Caspe........................	Fort..	Idem 1912..	13	24.3	»	58	25.4	23038
7	Quinto.......................	Idem.	Idem 1912..	13	31.6	»	58	42.3	22900
8	Manresa.....................	Gil...	Julio 1912..	13	47.8	»	58	37.1	22890
9	Cervera (Lérida)............	Idem.	Idem 1912..	13	23.0	»	58	37.4	22911
10	Lérida........................	Idem.	Idem 1912..	13	15.4	»	58	42.3	22888
11	Barbastro..................	Idem.	Idem 1912..	13	27.4	»	59	14.5	22640
12	Monzalbarba................	Fort..	Idem 1912..	13	46.1	»	58	57.7	22781
13	Jaca..........................	Idem.	Idem 1912..	13	50.0	»	59	44.8	22339
14	Huesca......................	Idem.	Idem 1912..	13	30.5	»	59	18.7	22568
15	Tafalla......................	Gil...	Agos. 1912..	14	18.3	»	59	56.1	22287
16	Burguete....................	Idem.	Idem 1912..	14	13.0	»	60	18.1	22108
17	Alsasua.....................	Idem.	Idem 1912..	14	35.9	»	60	20.2	22149
18	Tudela......................	Fort..	Idem 1912..	14	7.9	»	59	38.8	22519
19	Calahorra...................	Idem.	Idem 1912..	14	14.0	»	59	40.8	22364
20	Logroño.....................	Idem.	Idem 1912..	14	33.0	»	59	54.4	22303
21	Fuenterrabía...............	Idem.	Idem 1912..	14	21.3	»	60	38.9	21933
22	Deva.........................	Gil...	Sept. 1912..	14	48.1	»	60	46.8	21895
23	Briviesca...................	Idem.	Idem 1912..	14	48.9	»	60	0.2	22190
24	Palencia....................	Idem.	Idem 1912..	15	16.6	»	59	52.6	22355
25	Medina del Campo..........	Idem.	Idem 1912..	15	19.8	»	59	10.1	22627
26	Vitoria......................	Fort..	Idem 1912..	14	32.2	»	60	11.9	22166
27	Burgos......................	Idem.	Idem 1912..	14	51.7	»	60	0.8	22234
28	Viana de Cega..............	Idem.	Idem 1912..	15	7.5	»	59	21.1	22557
29	Segovia.....................	Gil...	Octu. 1912..	14	59.6	»	58	39.3	22825
30	Móstoles....................	Idem.	Idem 1912..	14	40.5	»	58	6.4	23168
31	Ortigosa....................	Fort..	Idem 1912..	14	54.5	»	58	58.0	22735
32	El Plantío..................	Idem.	Idem 1912..	14	32.4	»	58	14.9	23013
33	Moncada (Valencia)..........	Gil...	Nov. 1912..	13	16.3	»	56	45.1	23794
34	Denia.......................	Idem.	Idem 1912..	13	4.1	»	55	53.4	24128
35	Játiva.......................	Idem.	Idem 1912..	13	19.6	»	56	21.7	24005
36	Vinaroz.....................	Fort..	Idem 1912..	12	49.3	»	57	31.0	23383
37	Castellón...................	Idem.	Idem 1912..	12	48.6	»	57	6.7	23579
38	Ávila.........................	Gil...	Mayo 1913..	15	1.6	»	58	29.9	22959
39	El Escorial..................	Idem.	Idem 1913..	14	49.4	»	58	17.3	23021
40	Soria........................	Fort..	Idem 1913..	14	33.3	»	59	14.7	22689

Número.	ESTACIONES	Observador.	Fechas de la observación.	Valores obtenidos de la observación. D			I		H
				°	'		°	'	γ
41	Calamocha................	Fort.	Mayo 1913..	13	55.0	W	58	11.8	23098
42	Almazán................	Idem.	Idem 1913..	14	29.9	»	58	54.2	22756
43	Guadalajara...............	Gil..	Idem 1913..	»	»	»	58	12.8	23111
	Idem...................	Idem.	Jun. 1913..	14	33.2	»	»	»	»
44	Sahagún...................	Idem.	Idem 1913..	15	19.0	»	60	9.0	22186
45	Astorga...................	Fort.	Idem 1913..	16	7.9	»	60	37.6	22154
46	San Esteban de Pravia......	Gil..	Julio 1913..	16	3.2	»	61	25.7	21665
47	Puente de los Fierros.......	Idem.	Idem 1913..	15	52.2	»	60	53.6	21833
48	León......................	Idem.	Idem 1913..	15	41.6	»	60	29.9	22058
49	Orense....................	Fort.	Idem 1913..	16	31.0	»	60	31.7	22075
50	Túy.......................	Idem.	Idem 1913..	16	33.3	»	60	36.7	22121
51	Figueirido (Pontevedra).....	Idem.	Idem 1913..	15	27.0	»	60	45.6	22003
52	Logro.....................	Gil...	Agos. 1913..	15	11.2	»	60	56.5	21795
53	San Vicente de la Barquera..	Idem.	Idem 1913..	15	23.7	»	60	59.6	21788
54	Rivadesella................	Idem.	Idem 1913..	15	38.3	»	61	10.4	21730
55	Santiago..................	Fort.	Idem 1913..	16	36.5	»	61	11.5	21738
56	Culleredo (La Coruña).......	Idem.	Idem 1913..	16	27.8	»	61	29.5	21596
57	Ribadeo...................	Idem.	Idem 1913..	15	34.5	»	61	30.2	21546
58	Herrera...................	Gil...	Sept. 1913..	15	49.7	»	60	21.7	22116
59	Reinosa...................	Idem.	Idem 1913..	15	8.7	»	60	45.8	21903
60	Castro Urdiales.............	Idem.	Idem 1913..	14	48.3	»	60	50.8	21823
61	Lugo......................	Fort.	Idem 1913..	16	10.6	»	61	9.1	21809
62	Toral de los Vados..........	Idem.	Idem 1913..	15	58.5	»	60	39.1	21042
63	Barcial del Barco...........	Idem.	Idem 1913..	14	10.9	»	59	52.5	22213
64	El Burgo de Osma..........	Gil..	Octu. 1913..	14	26.1	»	59	6.6	22795
65	Teruel....................	Fort.	Idem 1913..	13	16.3	»	57	35.3	23348
66	Aranda de Duero............	Gil..	Idem 1913..	»	»	»	59	19.3	22553
	Idem.....................	Idem.	Nov. 1913..	14	56.3	»	»	»	»
67	Peñafiel..................	Idem.	Idem 1913..	15	7.9	»	59	19.8	22635
68	Calatayud.................	Fort.	Idem 1913..	14	3.9	»	58	39.2	22955
69	Sigüenza..................	Idem.	Idem 1913..	13	53.4	»	58	36.1	22952
70	Toledo....................	Gil..	Mayo 1914..	14	27.2	»	57	36.1	23464
71	Tarancón..................	Fort.	Idem 1914..	14	5.9	»	57	23.8	23364
72	Cuenca....................	Idem.	Idem 1914..	13	54.0	»	57	21.9	23709
73	Ceuta.....................	Idem.	Idem 1914..	14	4.6	»	53	24.4	25331
74	Tánger....................	Gil..	Jun. 1914..	14	28.2	»	53	21.7	25238
75	Valdepeñas................	Fort..	Idem 1914..	14	1.9	»	53	14.3	24061
76	Zamora...................	Gil..	Idem 1914..	15	45.0	»	59	30.3	»
	Idem.....................	Idem.	Julio 1914..	»	»	»	»	»	22544
77	Salamanca................	Idem.	Idem 1914..	15	19.1	»	58	56.3	22826

Número.	ESTACIONES	Observador.	Fechas de la observación.	Valores obtenidos de la observación.					
				D			I		H
				°	′		°	′	γ
78	Ciudad Rodrigo............	Gil...	Julio 1914..	15	35.8	W	58	47.2	22962
79	La Fregeneda..............	Idem.	Idem 1914..	15	44.8	»	59	10.0	22755
80	Alcázar de San Juan........	Fort.	Idem 1914..	13	53.0	»	56	49.1	23677
81	Albacete..................	Idem.	Idem 1914..	13	17.1	»	56	13.4	23957
82	Baños de Montemayor.......	Gil..	Agos. 1914..	15	10.2	»	58	24.4	23077
83	Plasencia (empalme)........	Idem.	Idem 1914..	15	14.5	»	58	2.5	23245
84	Villarobledo...............	Fort.	Idem 1914..	13	49.8	»	57	39.1	23804
85	Cáceres...................	Idem.	Idem 1914..	15	5.3	»	57	22.7	23452
86	Valencia de Alcántara.......	Idem.	Idem 1914..	15	25.7	»	57	35.6	23271
87	Navalmoral de la Mata......	Gil ..	Sept. 1914..	14	59.1	»	57	51.2	23322
88	Talavera de la Reina........	Idem.	Idem 1914..	14	45.2	»	57	46.2	23320
89	Mahón....................	Idem.	Idem 1914..	11	18.3	»	56	15.8	23958
90	Palma de Mallorca.........	Idem.	Idem 1914..	11	52.4	»	56	15.7	24017
91	Mérida....................	Fort.	Idem 1914..	15	6.2	»	56	54.1	23627
92	Talavera la Real...........	Idem.	Idem 1914..	15	21.7	»	57	4.2	23591
93	Gelbes....................	Idem.	Idem 1914..	14	46.2	»	55	13.5	24336
94	Manacor..................	Gil...	Octu. 1914..	11	42.7	»	56	6.1	24036
95	Almería......	Idem.	Mayo 1915..	13	29.1	»	54	0.4	24894
96	Motril....................	Idem.	Idem 1915..	13	55.6	»	54	3.9	24830
97	Granada..................	Idem.	Idem 1915..	13	59.8	»	54	44.2	24646
98	Córdoba..................	Fort.	Idem 1915..	14	19.1	»	55	28.5	24389
99	Arcos de la Frontera........	Idem.	Idem 1915..	14	33.9	»	54	20.8	24780
100	Almorchón................	Idem.	Jun. 1915..	14	52.8	»	56	36.8	23905
101	Ciudad Real...............	Idem.	Idem 1915..	14	8.4	»	56	31.6	23912
102	Hellín.....................	Gil...	Julio 1915..	13	18.6	»	55	43.2	24177
103	Murcia....................	Idem.	Idem 1915..	13	5.6	»	55	4.2	24480
104	Cartagena.................	Idem.	Idem 1915..	12	54.0	»	54	36.5	24672
105	Jaén.....................	Fort.	Idem 1915..	13	59.3	»	55	12.6	24415
106	Sanlúcar de Barrameda......	Idem.	Idem 1915..	14	42.4	»	54	39.8	24716
107	Alicante..................	Gil...	Agos. 1915..	12	48.7	»	55	25.1	24336
108	Churriana (Málaga).........	Fort.	Idem 1915..	14	15.1	»	54	1.3	24948
109	Ibiza.....................	Gil...	Idem 1915..	12	11.7	»	55	42.0	24210
110	Ronda....................	Fort.	Idem 1915..	14	27.2	»	54	14.9	24824
111	Archidona.................	Idem.	Idem 1915..	14	13.7	»	54	32.0	24718
112	Huelva...................	Idem.	Idem 1915..	15	3.3	»	55	14.6	24431
113	Aguilas...................	Gil...	Sept. 1915..	12	54.4	»	54	25.6	24715
114	Fregenal de la Sierra........	Fort.	Idem 1915..	14	28.4	»	56	29.7	23905
115	Baza.....................	Gil...	Idem 1915..	13	32.2	»	54	43.7	24584
116	Puente Genil..............	Idem.	Idem 1915..	14	17.9	»	55	3.2	24470
117	Tembleque................	Fort.	Octu. 1915..	14	3.9	»	57	21.1	»

Además, se hicieron anualmente en Tortosa las dos determinaciones de constantes correspondientes, obteniéndose los valores de los elementos magnéticos de esta estación, con lo cual son 118 las observadas, en el plazo indicado, para la red de primer orden.

Al final se incluye un mapa de España en el cual se han situado las 117 estaciones que anteceden, con el número correspondiente a la tabla anterior, constituyendo así un Mapa magnético tabular de de España que puede tener inmediata aplicación.

Para deducir, aunque sea de un modo imperfecto y con suficiente aproximación, los valores de los elementos magnéticos de puntos intermedios entre las estaciones observadas, puede hacerse una interpolación, y para reducir, del modo antedicho, esos valores a otra época que convenga, a continuación damos los promedios mensuales de los tres elementos magnéticos calculados en el Observatorio del Ebro para el plazo comprendido entre la iniciación de los trabajos en Mayo de 1912 y Noviembre de 1918, que es el último calculado que poseemos.

AÑOS	MESES	Declinación.	Inclinación.	Componente horizontal.
		° ′	° ′	γ
1912....	Mayo	13 10.7	57 51.9	23269
	Junio	13 10.0	57 52.0	23273
	Julio	13 9.5	57 52.0	23274
	Agosto	13 8.2	57 51.6	23272
	Septiembre	13 7.5	57 51.8	23275
	Octubre	13 7.5	57 51.8	23275
	Noviembre	13 5.9	57 51.1	23270
	Diciembre	13 4.6	57 51.2	23266
1913....	Enero	13 3.9	57 50.9	23264
	Febrero	13 3.5	57 50.3	23271
	Marzo	13 3.2	57 49.8	23276
	Abril	13 2.8	57 49.6	23278
	Mayo	13 1.7	57 49.6	23282
	Junio	13 1.2	57 49.1	23299
	Julio	13 1.1	57 48.9	23304
	Agosto	13 0.9	57 48.8	23305
	Septiembre	13 0.4	57 48.3	23300
	Octubre	12 57.4	57 48.5	23296
	Noviembre	12 56.2	57 48.7	23294
	Diciembre	12 55.7	57 48.5	23290
1914....	Enero	12 54.2	57 48.4	23285
	Febrero	12 53.6	57 47.8	23293
	Marzo	12 52.6	57 47.8	23294
	Abril	12 52.7	57 47.6	23297
	Mayo	12 52.1	57 47.4	23303
	Junio	12 52.0	57 47.3	23306
	Julio	12 51.3	57 47.2	23310

ESTACIONES	D	ESTACIONES	D
	° ′		° ′
Deva	14 35.6 W	Sahagún	15 12.8 W
Briviesca	14 36.4 »	Huelva	15 13.5 »
Ronda	14 37.4 »	Baños de Montemayor	15 15.2 »
Burgos	14 39.2 »	San Vicente de la Barquera	15 17.8 »
Arcos de la Frontera	14 41.4 »	Plasencia (empalme)	15 19.5 »
Ortigosa	14 42.0 »	Figueirido	15 20.9 »
Fregenal de la Sierra	14 42.1 »	Salamanca	15 23.0 »
El Escorial	14 42.7 »	Talavera la Real	15 27.2 »
Castro Urdiales	14 42.9 »	Ribadeo	15 28.6 »
Segovia	14 47.1 »	Valencia de Alcántara	15 30.7 »
Sanlúcar de Barrameda	14 49.8 »	Rivadesella	15 32.4 »
Talavera de la Reina	14 50.7 »	León	15 35.5 »
Gelbes	14 51.7 »	Ciudad Rodrigo	15 39.7 »
Viana de Cega	14 55.0 »	Herrera	15 44.3 »
Aranda de Duero	14 55.1 »	Puente de los Fierros	15 46.1 »
Avila	14 59.9 »	Zamora	15 47.9 »
Almorchón	15 0.1 »	La Fregeneda	15 48.7 »
Reinosa	15 3.3 »	Toral de los Vados	15 53.1 »
Palencia	15 4.1 »	San Esteban de Pravia	15 57.1 »
Navalmoral de la Mata	15 4.6 »	Astorga	16 1.7 »
Mogro	15 5.3 »	Lugo	16 5.2 »
Peñafiel	15 6.7 »	Culleredo	16 21.9 »
Medina del Campo	15 7.3 »	Orense	16 24.9 »
Cáceres	15 10.3 »	Tuy	16 27.2 »
Mérida	15 11.7 »	Santiago	16 30.6 »

Si se comparan estos valores teniendo en cuenta la situación geográfica de las estaciones a que corresponden, puede a primera vista notarse que los de Figueirido, Ribadeo, Barcial del Barco, Fregenal de la Sierra y Ceuta presentan grandes anomalías, ofreciendo otras menos notables las estaciones de Toral de los Vados, Zamora, Herrera, Viana de Cega, Ortigosa, Sigüenza, Alcázar de San Juan, Córdoba, Cervera y Astorga. Estas anomalías pueden ser debidas a errores de observación, perturbaciones pasajeras o perturbaciones permanentes debidas a influencias locales. La repetición de los trabajos en estas estaciones, que ya se ha comenzado, nos dirá la verdadera causa de tales anomalías, y si esa repetición volviese a dar los mismos resultados (con la natural variación secular), quedaría demostrada la existencia de perturbaciones locales permanentes, de las que más adelante se hará un detenido estudio para circunscribir la zona en que están enclavadas, hasta dejarla bien definida y aislada, haciendo observaciones con la densidad conveniente, según los casos.

Si reducimos a la misma época común los valores de la inclinación, obtendremos el resultado siguiente:

ESTACIONES	I		ESTACIONES	I	
	°	′		°	′
Tánger	53	23.1	Navalmoral de la Mata	57	52.2
Ceuta	53	25.3	Tarragona	57	53.2
Almería	54	2.5	Villanueva y Geltrú	58	0.1
Churriana	54	3.4	Plasencia (empalme)	58	3.9
Motril	54	6.0	Móstoles	59	4.1
Ronda	54	17.0	Mora de Ebro	58	5.0
Arcos de la Frontera	54	22.9	Calamocha	58	10.7
Aguilas	54	27.6	Mataró	58	11.2
Archidona	54	34.1	Guadalajara	58	11.7
Cartagena	54	37.4	El Plantío	58	12.6
Sanlúcar de Barrameda	54	40.7	El Escorial	58	16.2
Baza	54	45.7	Caspe	58	21.9
Granada	54	46.3	Baños de Montemayor	58	25.8
Murcia	55	5.1	Avila	58	28.2
Puente Genil	55	5.2	Manresa	58	33.6
Jaén	55	13.5	Cervera	58	33.9
Gelbes	55	14.5	Gerona	58	35.8
Huelva	55	16.7	Sigüenza	58	35.9
Alicante	55	27.2	Segovia	58	37.0
Córdoba	55	30.6	Lérida	58	38.8
Hellín	55	44.1	Quinto	58	38.8
Ibiza	55	44.1	Calatayud	58	39.0
Denia	55	50.8	Ciudad Rodrigo	58	48.5
Manacor	56	7.3	Almazán	58	53.1
Albacete	56	14.7	Monzalbarba	58	54.2
Valdepeñas	56	15.7	Ortigosa	58	55.7
Palma de Mallorca	56	16.7	Salamanca	58	57.6
Mahón	56	16.8	El Burgo de Osma	59	6.6
Játiva	56	19.1	Medina del Campo	59	6.8
Fregenal de la Sierra	56	31.7	Barbastro	59	11.0
Ciudad Real	56	33.3	La Fregeneda	59	11.3
Almorchón	56	38.5	Soria	59	13.6
Moncada	56	42.5	Huesca	59	15.2
Alcázar de San Juan	56	50.4	Viana de Cega	59	17.8
Mérida	56	55.1	Aranda de Duero	59	19.3
Castellón	57	4.1	Peñafiel	59	19.6
Talavera la Real	57	5.2	Zamora	59	31.7
Tembleque	57	22.6	Tudela	59	35.7
Cuenca	57	22.8	Calahorra	59	37.7
Cáceres	57	24.1	Jaca	59	41.3
Tarancón	57	24.7	Palencia	59	49.3
Vinaroz	57	28.4	Logroño	59	51.3
Teruel	57	35.3	Barcial del Barco	59	52.7
Toledo	57	37.0	Tafalla	59	53.0
Valencia de Alcántara	57	37.0	Briviesca	59	56.9
Villarrobledo	57	40.5	Burgos	59	57.5
Talavera de la Reina	57	47.2	Sahagún	60	8.4
Tortosa	57	48.4	Vitoria	60	8.6

ESTACIONES	I	ESTACIONES	I
	° ′		° ′
Burguete	60 15.0	Reinosa	60 46.0
Alsasua	60 17.1	Castro Urdiales	60 51.0
Herrera	60 21.9	Puente de los Fierros	60 53.2
León	60 29.5	Mogro	60 56.2
Orense	60 31.3	San Vicente de la Barquera	60 59.3
Fuenterrabía	60 35.8	Lugo	61 9.3
Túy	60 36.3	Rivadesella	61 10.1
Astorga	60 37.0	Santiago	61 11.2
Toral de los Vados	60 39.3	San Esteban de Pravia	61 25.3
Deva	60 43.5	Culleredo	61 29.2
Figueirido	60 45.2	Ribadeo	61 29.9

Procediendo análogamente podremos ver que la única anomalía notable que se nota en los valores de la inclinación corresponde a la estación de Villarrobledo, cuya observación debe repetirse con el mismo objeto que se ha dicho en la declinación.

Respecto a la componente horizontal de la intensidad, el resultado de su reducción a la misma época, es el siguiente:

ESTACIONES	Valor de *H* en γ.	ESTACIONES	Valor de *H* en γ.
Ribadeo	21528	Sahagún	22174
Culleredo	21578	Vitoria	22178
San Esteban de Pravia	21648	Barcial del Barco	22200
Ribadesella	21712	Briviesca	22202
Santiago	21720	Burgos	22246
San Vicente de la Barquera	21770	Tafalla	22302
Mogro	21777	Logroño	22318
Lugo	21797	Jaca	22352
Castro Urdiales	21810	Palencia	22367
Puente de los Fierros	21816	Calahorra	22379
Reinosa	21890	Zamora	22521
Deva	21907	Tudela	22534
Toral de los Vados	21929	Aranda de Duero	22544
Fuenterrabía	21948	Viana de Cega	22569
Figueirido	21986	Huesca	22581
León	22041	Peñafiel	22628
Orense	22058	Medina del Campo	22639
Herrera	22103	Barbastro	22653
Túy	22104	Soria	22694
Burguete	22123	La Fregeneda	22732
Astorga	22142	Ortigosa	22747
Alsasua	22164	Almazán	22761

ESTACIONES	Valor de H en γ.	ESTACIONES	Valor de H en γ.
El Burgo de Osma	22786	Alcázar de San Juan	23654
Monzalbarba	22794	Cuenca	23696
Salamanca	22803	Villarrobledo	23782
Segovia	22837	Moncada	23811
Gerona	22874	Almorchón	23904
Lérida	22901	Ciudad Real	23911
Manresa	22903	Fregenal de la Sierra	23914
Quinto	22914	Albacete	23934
Cervera de Lérida	22924	Mahón	23948
Ciudad-Rodrigo	22939	Palma de Mallorca	24007
Sigüenza	22945	Játiva	24022
Calatayud	22948	Manacor	24031
Avila	22964	Valdepeñas	24041
El Plantío	23025	Denia	24145
El Escorial	23026	Hellín	24177
Caspe	23052	Ibiza	24211
Baños de Montemayor	23056	Gelbes	24326
Mataró	23075	Alicante	24336
Calamocha	23103	Córdoba	24390
Guadalajara	23116	Jaén	24415
Villanueva y Geltrú	23171	Huelva	24432
Móstoles	23180	Puente Genil	24479
Plasencia (empalme)	23224	Murcia	24480
Mora de Ebro	23225	Baza	24593
Valencia de Alcántara	23250	Granada	24647
Tarragona	23252	Cartagena	24672
Tortosa	23285	Sanlúcar de Barrameda	24716
Talavera de la Reina	23310	Archidona	24719
Navalmoral de la Mata	23312	Aguilas	24724
Teruel	23339	Arcos	24781
Tarancón	23351	Ronda	24825
Vinaroz	23400	Motril	24831
Cáceres	23431	Almería	24895
Toledo	23451	Churriana	24949
Talavera la Real	23581	Tánger	25218
Castellón	23596	Ceuta	25318
Mérida	23617		

Igualmente se notan en este elemento anomalías, que son importantes en las estaciones de Barcial de Barco (lo mismo que en la declinación), Villarrobledo (igual que en la inclinación) y otras menos notables en las estaciones de Alcázar de San Juan (como en la declinación) Cuenca, Peñafiel y Tembleque, que por las mismas razones antes indicadas deben repetirse

Terminada la red de primer orden, se pensó en dedicar una campaña al estudio de la variación secular, antes de empezar las observaciones de segundo orden. Este estudio, de suma importancia cien-

tífica, y solicitado con mucho encarecimiento por el Director del servicio magnético prusiano, debía consistir en la repetición de las estaciones magnéticas observadas en España por Lamont, Moureaux y la Comisión hidrográfica, de que ya se ha hablado en otro lugar de esta Memoria; y aunque su ejecución se había proyectado para el día en que estuviese terminado el Mapa magnético, se decidió hacerlo al terminar la red de primer orden, para aprovechar las estaciones de ésta que fueron observadas por alguno de aquéllos señores, pues de este modo, todas las observaciones dedicadas al estudio de la variación secular, quedarían comprendidas en un períódo de cinco años.

Durante la campaña de 1916, se observaron, pues, con el mayor detenimiento y escrupulosidad, repitiendo la mayor parte de las observaciones, las estaciones siguientes: Martorell, Rosas, Sitges, Vigo, Santander, Bilbao, San Sebastián, Pamplona, Valencia, Algeciras, Sevilla, Torrevieja, Cullera, Granada y Arenys de Mar.

Comparando los valores obtenidos por Lamont, después de reducidos a la época común de 1.° de Enero de 1858, con los obtenidos por el Instituto Geográfico, en la época actual, se consiguieron, para la declinación, los resultados y enseñanzas que siguen:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.		Años.	
		° ′		° ′	° ′		′
Albacete........	1.°-I-1858	19 11.0	Julio 1914 ...	13 17.1	— 5 53.9	56.6	— 6.3
Almería........	Idem ...	19 3.6	Mayo 1915...	13 29.1	— 5 34.5	57.4	— 5.8
Arenys de Mar..	Idem ...	17 52.4	Julio 1916 ...	11 54.1	— 5 58.3	58.6	— 6.1
Bilbao..........	Idem ...	20 28.8	Agosto 1916..	14 19.6	— 6 9.2	58.7	— 6.3
Calatayud	Idem ...	19 35.2	Nov. 1913....	14 3.9	— 5 31.3	56.0	— 5.9
Cartagena	Idem ...	18 36.5	Julio 1915 ...	12 54.0	— 5 42.5	57.6	— 5.9
Gerona..........	Idem ...	17 54.3	Junio 1912...	12 26.1	— 5 28.2	54.5	— 6.0
Granada........	Idem ...	19 33.5	Idem 1916...	13 57.1	— 5 36.4	58.5	— 5.8
Játiva..........	Idem ...	18 47.0	Nov. 1912....	13 19.6	— 5 27.4	54.9	— 6.0
Coruña (La).....	Idem ...	22 42.4	Agosto 1913..	16 27.8	— 6 14.6	55.7	— 5.7
Málaga..........	Idem ...	19 43.3	Idem 1915...	14 15.1	— 5 28.2	57.7	— 5.7
Martorell.......	Idem ...	18 12.1	Junio 1916...	12 4.6	— 6 7.5	58.5	— 6.3
Pamplona	Idem ...	19 56.9	Sept. 1916....	13 40.8	— 6 16.1	58.8	— 6.4
San Sebastián...	Idem ...	20 13.0	Idem.........	13 54.4	— 5 18.6	58.8	— 6.4
Santander	Idem ...	20 52.0	Agosto 1916..	14 10.8	— 6 41.2	58.7	— 6.8
Santiago........	Idem ...	22 35.3	Idem 1913...	16 36.5	— 5 58.8	55.7	— 6.4
Zaragoza	Idem ...	19 17.2	Julio 1913 ...	13 46.1	— 5 31.1	54.6	— 6.1
Sevilla	Idem ...	20 16.7	Sept. 1914....	14 46.2	— 5 30.5	56.8	— 5.8

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de roducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.			
		° ′		° ′	° ′		
Tarragona......	1.°-I-1858	18 21.3	Mayo 1912....	12 56.0	— 5 25.3	54.4	— 6.0
Tembleque.....	Idem....	19 52.9	Octubre 1915.	14 3.9	— 5 49.0	57.8	— 6.0
Valencia........	Idem....	18 39.2	Julio 1916...	12 58.4	— 5 40.8	58.6	— 6.0
Vigo...........	Idem....	22 33.9	Idem........	16 28.8	— 6 5.1	58.6	— 6.2
Vitoria.........	Idem....	20 15.1	Sept. 1912...	14 32.2	— 5 42.9	54.8	— 6.3

Se prescinde de la comparación de valores obtenidos por Lamont en Barcelona, Madrid y San Fernando, porque el establecimiento de tranvías eléctricos en estas poblaciones obligó a prescindir de ellas en las observaciones hechas por el Instituto Geográfico, y en Guadalajara y Logroño porque el ilustre Observador alemán no publicó el valor que obtuvo para la declinación, probablemente por encontrarlo erróneo.

Del resultado de la anterior comparación se deduce que la variación secular de la declinación no es uniforme en todo el territorio español, sino que va aumentando en valor absoluto de Sur a Norte, desde — 5′.7 en Málaga a — 6′.8 en Santander. La variación media anual del territorio es — 6′.1.

Haciendo igual comparación de los valores obtenidos por Lamont y por el Instituto Geográfico para la inclinación, obtenemos:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.			
		° ′		° ′	° ′		′
Almería........	1.°-I-1858	57 36.9	Mayo 1915...	54 0.4	— 3 26.5	57.4	— 3.6
Arenys de Mar..	Idem....	60 48.0	Julio 1916...	58 15.0	— 2 33.0	58.6	— 2.6
Bilbao.........	Idem....	63 22.1	Agosto 1916..	60 45.5	— 2 36.6	58.7	— 2.7
Calatayud......	Idem....	61 24.9	Nov. 1913....	58 39.2	— 2 45.7	55.9	— 3.0
Cartagena......	Idem....	57 51.6	Julio 1915...	54 36.5	— 3 15.1	57.6	— 3.4
Granada.......	Idem....	57 59.8	Mayo 1915...	54 44.2	— 3 15.6	57.4	— 3.4
Guadalajara....	Idem....	61 10.2	Idem 1913....	58 12.8	— 2 57.4	55.4	— 3.2
Coruña (La)....	Idem....	64 9.1	Agosto 1913..	61 29.5	— 2 39.6	55.7	— 2.9
Logroño.......	Idem....	62 33.6	Idem 1912...	59 54.4	— 2 39.2	54.7	— 2.9
Málaga.........	Idem....	57 49.4	Idem 1915...	54 1.3	— 3 48.1	57.7	— 4.0

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.			
		° ′		° ′	° ′		′
Martorell.......	1.°-I-1858	60 51.6	Junio 1916...	58 16.9	— 2 34.7	58.5	— 2.6
Pamplona......	Idem....	62 40.1	Sept. 1916....	60 0.4	— 2 39.7	58.8	— 2.7
San Sebastián...	Idem....	63 3.4	Idem 1916...	60 32.4	— 2 31.0	58.8	— 2.6
Santander.......	Idem....	63 34.3	Agosto 1916..	60 53.2	— 2 41.1	58.7	— 2.7
Santiago........	Idem....	63 57.7	Idem 1913...	61 11.5	— 2 46.2	55.7	— 3.0
Zaragoza.... ...	Idem....	61 36.4	Julio 1912...	58 57.7	— 2 38.7	54.6	— 2.9
Sevilla (Geibes).	Idem....	58 53.3	Sept. 1914....	55 13.5	— 3 39.8	56.8	— 3.9
Tarragona.......	Idem....	60 37.7	Mayo 1912...	57 56.6	— 2 41.1	54.4	— 3.0
Tembleque......	Idem....	60 20.9	Octubre 1915.	57 21.1	— 2 59.8	57.8	— 3.1
Valencia........	Idem....	59 28.0	Julio 1916...	56 31.0	— 3 57.0	58.6	— 3.0
Vigo............	Idem....	63 35.0	Idem 1916...	60 31.6	— 3 3.4	58.6	— 3.1
Vitoria..........	Idem....	62 49.1	Sept. 1912....	60 11.9	— 2 37.2	54.8	— 2.9

Tampoco es uniforme, según vemos, la variación secular de la inclinación en toda España, pues aumenta en valor absoluto de Norte a Sur, desde — 2′.6 que tiene en San Sebastián, hasta — 4′.0 en Málaga, pero así como las líneas de igual variación parecen seguir en la declinación una dirección general de SO. a NE., en la inclinación siguen la de NO. a SE. El promedio de la variación media anual de la inclinación resulta de — 3′.1.

Haciendo la misma comparación para los valores de la componente horizontal, obtendremos:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.			
		γ		γ	γ		γ
Albacete.......	1.°-1-1858	22515	Julio 1914...	23957	+ 1442	56.6	+ 25
Almería.......	Idem....	23460	Mayo 1915...	24894	+ 1434	57.4	+ 25
Arenys de Mar.	Idem....	21817	Julio 1916...	23080	+ 1263	58.6	+ 22
Bilbao.........	Idem....	20616	Agosto 1916..	21864	+ 1248	58.7	+ 21
Calatayud.....	Idem....	21492	Nov. 1913.....	22955	+ 1463	55.9	+ 26
Cartagena......	Idem....	23246	Julio 1915...	24672	+ 1426	57.6	+ 25
Gerona........	Idem....	21672	Junio 1912...	22860	+ 1188	54.5	+ 22
Granada.......	Idem....	23191	Mayo 1915...	24646	+ 1455	57.4	+ 25
Guadalajara....	Idem....	21674	Idem 1913....	23111	+ 1437	55.4	+ 26

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LAMONT		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores	Fecha de observación.	Valores.			
		γ		γ	γ		γ
Játiva.........	1.º-I-1858	22664	Nov. 1912....	24005	+ 1341	54.9	+ 24
Coruña (La)....	Idem....	20217	Agosto 1913..	21596	+ 1379	55.7	+ 25
Logroño.......	Idem....	21076	Idem 1912...	22303	+ 1227	54.7	+ 22
Málaga........	Idem....	23350	Idem 1915...	24948	+ 1598	57.7	+ 28
Martorell......	Idem....	21809	Junio 1916...	23086	+ 1277	58.5	+ 22
Pamplona.....	Idem....	20957	Sept. 1916...	22188	+ 1231	58.8	+ 21
San Sebastián..	Idem....	20685	Idem 1916...	21905	+ 1220	58.8	+ 21
Santander.....	Idem....	20523	Agosto 1916..	21805	+ 1282	58.7	+ 22
Santiago.......	Idem....	20341	Idem 1913...	21738	+ 1397	55.7	+ 25
Zaragoza......	Idem....	21459	Mayo 1912...	22781	+ 1322	54.4	+ 24
Sevilla........	Idem....	22849	Sept. 1914....	24336	+ 1487	56.8	+ 26
Tarragona.....	Idem....	21911	Mayo 1912...	23234	+ 1323	54.4	+ 24
Valencia.......	Idem....	22456	Julio 1916...	23827	+ 1371	58.6	+ 23
Vigo..........	Idem....	20573	Idem 1916...	22028	+ 1455	58.6	+ 25
Vitoria........	Idem....	20920	Sept. 1916....	22166	+ 1246	54.8	+ 23

La falta de uniformidad observada para los otros elementos, se nota en la variación secular de la componente horizontal de la intensidad en nuestro territorio, pues la media anual aumenta de Norte a Sur, desde 21 γ que tiene en Bilbao, Pamplona y San Sebastián, hasta 28 γ que tiene en Málaga, siendo la dirección general de las líneas de igual variación de NO. a SO. La variación media anual es de 24 γ.

De la comparación de los valores obtenidos por Moureaux en las observaciones que hizo en el Sur y Levante de la Península, después de reducidas a la época común de 1.º de Enero de 1888, con nuestras observaciones actuales, se deducen, para la declinación, los resultados que se exponen a continuación:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE MOUREAUX		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo. — Años.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación	Valores			
		° ′		° ′	° ′		′
Tánger.........	1.º-I 1888	16 46.0	Junio 1914...	14 28.2	— 2 17.8	26.5	— 5.2
Algeciras.......	Idem ...	16 34.9	Abril 1916....	14 6.5	— 2 28.4	28.3	— 5.2
Alicante........	Idem ...	15 14.9	Agosto 1915..	12 48.7	— 2 26.2	27,7	— 5.3
Almería........	Idem ...	15 44.8	Mayo 1915....	13 29.1	— 2 15.7	27.4	— 5.0
Cartagena......	Idem ...	15 20.6	Julio 1915....	12 54.0	— 2 26.6	27.6	— 5.3
Málaga.........	Idem ...	16 21.5	Agosto 1915..	14 15.1	— 2 6.4	27.7	— 4.6
Valencia.......	Idem ...	15 21.1	Julio 1916....	12 58.4	— 2 22.7	28.6	— 5.0

Como se ve, esta comparación de resultados está de acuerdo con la anterior, tanto en el incremento de variación de Sur a Norte, como en la dirección general de las líneas de igual variación. El promedio de la variación media anual es de — 5′.1, o sea un minuto menor en valor absoluto que el deducido de la comparación con las observaciones de Lamont, lo que demuestra que la variación secular de la declinación no es tampoco uniforme en el transcurso de los años, sino que disminuye a medida que va disminuyendo la declinación.

Comparando igualmente la inclinación obtenemos:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE MOUREAUX: Fecha de reducción.	OBSERVACIÓN DE MOUREAUX: Valores.	OBSERVACIÓN ACTUAL: Fecha de observación.	OBSERVACIÓN ACTUAL: Valores.	Variación total.	Diferencia de tiempo. Años.	Variación media anual.
		° ′		° ′	° ′		′
Tánger.........	1.°-I-1888	55 14.5	Junio 1914...	53 21.7	— 1 52.8	26.5	— 4.3
Algeciras.......	Idem....	55 27.8	Abril 1916....	53 38.5	— 1 49.3	28.3	— 3.9
Alicante.........	Idem....	56 42.6	Agosto 1915..	55 25.1	— 1 17.5	27.7	— 2.8
Almería.........	Idem....	55 32.3	Mayo 1915....	54 0.4	— 1 31.9	27.4	— 3.4
Cartagena.......	Idem....	56 4.3	Julio 1915....	54 36.5	— 1 27.8	27.6	— 3.2
Málaga..........	Idem....	55 56.3	Agosto 1915..	54 1.3	— 1 55.0	27.7	— 4.1
Valencia........	Idem....	57 48.3	Julio 1916....	56 31.0	— 1 17.3	28.6	— 2.7

También confirman estos resultados que no es constante la variación secular de la inclinación en todo el territorio, como se dedujo del estudio de las observaciones de Lamont, estando de acuerdo con ellas en que dicha variación aumenta de Norte a Sur. El promedio de la variación media anual es de — 3′.5, o sea algo mayor, en valor absoluto, que el obtenido de las observaciones de Lamont, lo que indica que la variación secular de la inclinación aumenta a medida que disminuye la inclinación. Para la componente horizontal se obtiene:

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE MOUREAUX: Fecha de reducción.	OBSERVACIÓN DE MOUREAUX: Valores.	OBSERVACIÓN ACTUAL: Fecha de observación.	OBSERVACIÓN ACTUAL: Valores.	Variación total.	Diferencia de tiempo. Años.	Variación media anual.
		γ		γ	γ		γ
Tánger.........	1.°-I-1888	24 596	Junio 1914..	25 238	+ 643	26.5	+ 24
Algeciras.......	Idem ...	24 509	Abril 1916...	25 062	+ 553	28.3	+ 20
Alicante.........	Idem ...	23 940	Agosto 1915..	24 335	+ 395	27.7	+ 14
Almería.........	Idem ...	24 455	Mayo 1915...	24 394	+ 439	27.4	+ 16
Cartagena.......	Idem ...	24 193	Julio 1915...	24 672	+ 479	27.6	+ 17
Málaga..........	Idem ...	24 242	Agosto 1915..	24 948	+ 706	27.7	+ 25
Valencia........	Idem ...	23 436	Julio 1916...	23 827	+ 391	28.6	+ 14

Estos resultados comprueban igualmente la falta de uniformidad en la variación secular de la componente horizontal de la intensidad, a través de nuestro territorio, deducida de la anterior comparación con las observaciones de Lamont, estando también de acuerdo ambos resultados en que dicha variación aumenta de Norte a Sur. El promedio de la variación media anual es de 19 γ, o sea una quinta parte menor que el deducido de las observaciones de Lamont, lo que demuestra que la variación secular de la componente horizontal de la intensidad disminuye a medida que aumenta dicha componente.

Es muy digno de notar el que a pesar del corto número de observaciones realizadas en España por Moureaux, la comparación de sus resultados con los del Instituto Geográfico, coincida con la de éstos y los de Lamont, permitiéndonos establecer las deducciones indicadas, a las que obedece la variación secular de los elementos magnéticos.

De ellas se deduce una consecuencia inmediata, y es la absoluta y urgente necesidad de establecer varios Observatorios magnéticos en nuestro territorio, ya que, según vemos, la variación secular no es uniforme en todo él. Debe, pues, procederse inmediatamente a la construcción del Observatorio Central que el Instituto tiene proyectado en Alcalá de Henares. Y si posteriormente llegasen a establecerse uno en Algeciras o Málaga y otro en La Coruña o Pontevedra, unificando sus aparatos con los del Observatorio del Ebro, ya existente, la red quedaría completa en España.

Las observaciones efectuadas hace cuarenta años por la Comisión hidrográfica española, fueron exclusivamente de declinación en la zona costera del Sur y Levante de la Península. Comparando los valores que se obtuvieron después de reducidos a la época común de 1.° de Julio de 1879, con los obtenidos actualmente por el Instituto Geográfico, encontramos los resultados que se citan en el cuadro de la página siguiente.

Aunque estos resultados no presentan la regularidad de los que se deducen de la comparación de las observaciones actuales con las de Lamont y Moureaux, puede decirse que, en términos generales, obedecen a las mismas leyes, pues los valores menores de la variación media anual se encuentran hacia el Sur de la zona observada, y los mayores hacia el Norte. El promedio de la variación media anual es de 6'.2, que sólo se diferencian en 0'.1 del que se obtiene en las observaciones de Lamont.

ESTACIONES	OBSERVACIÓN DE LA COMISIÓN		OBSERVACIÓN ACTUAL		Variación total.	Diferencia de tiempo.	Variación media anual.
	Fecha de reducción.	Valores.	Fecha de observación.	Valores.		Años	
		° ′		° ′	° ′		′
Aguilas	1.º-VII-1879.	16 18.1	Sept. 1915	12 59.4	— 3 18.7	36.2	— 5.5
Cartagena	Idem	15 59.1	Julio 1915	12 54.0	— 3 5.1	36.0	5.1
Alicante	Idem	16 2.3	Agosto 1915	12 48.7	3 13.6	36.1	5.4
Denia	Idem	15 56.3	Nov. 1912	13 4.1	2 52.2	33.3	5.2
Cullera	Idem	16 15.5	Abril 1916	12 40.2	— 3 35.3	28.3	7.6
Valencia	Idem	16 8.4	Julio 1916	12 58.4	— 3 10.0	28.6	6.6
Tarragona	Idem	15 55.1	Mayo 1912	12 56.0	— 2 59.1	32.8	5.5
Sitges	Idem	15 36.2	Junio 1916	12 3.7	3 32.5	28.5	— 7.5
Rosas	Idem	15 9.9	Idem 1916	11 38.5	3 31.4	28.5	— 7.4

En el año 1917 se dió principio a la observación de las estaciones de la red de segundo orden, habiéndose observado por las dos brigadas encargadas de este trabajo las 43 estaciones siguientes:

Alcalá de Henares.—Alhama de Granada.—Arenas de San Pedro. Arévalo.—Astudillo.—Balaguer.—Belmonte.—Carmona.—Casas Ibáñez.—Cazalla de la Sierra.—Cervera del Río Pisuerga.—Colmenar Viejo.—Chinchón.—Écija.—Falset.—Figueras.—Guadix.—La Roda. Lebrija.—Lora del Río.—Malgrat.—Motilla del Palancar.—Olot. Osuna.—Palamós.—Piedrahita.—Pons.—Port-Bou.—Puigcerdá.—Ripoll.—San Martín de Valdeiglesias.—San Pablo.—Seo de Urgel.—Solsona.—Sort.—Tarifa.—Tremp.—Tocina.—Torrelaguna.—Utrera.—Villamanrique.—Villamartín y Vejer de la Frontera.

Además se hicieron observaciones en Mósteles, Cabo Mayor (Santander) y Algeciras para estudio de la variación secular.

En el pasado año de 1918 se observaron por las dos brigadas las 36 estaciones, de la misma red de segundo orden, siguientes:

Almodóvar.—Almuradiel.—Aracena.—Ayamonte.—Becerreá. Belchite.—Berga.—Borja.—Cantalapiedra.—Cariñena.—Ejea de los Caballeros.—Elizondo.—Estella.—Fonsagrada.—Fraga.—Fuente de San Esteban.—Guijuelo.—Huici.—Infantes.—La Bañeza.—La Palma.—La Vecilla.—Ledesma.—Manzanares.—Monforte.—Montalbán. Montblanch.—Peñaranda.—Riaño.—Ricla.—Sangüesa.—Sariñena. Valencia de don Juan.—Vich.—Vitigudino.—Vivero, y de variación secular Alicante.—Baños de Montemayor.—Huelva y Lugo.

En el presente año continúan ambas observaciones, habiéndose empezado la repetición de algunas de la red de primer orden, antes señaladas, por haber obtenido valores anormales para sus elementos magnéticos.

Al mismo tiempo se van calculando las estaciones de la red de segundo orden, a medida que se obtienen los datos del Observatorio base, estando a punto de terminarse el cálculo para las de la campaña de 1917.

Si comparamos la velocidad de trabajo en España con la de los Estados Unidos, que es el país donde actualmente se dedica más atención al estudio del magnetismo terrestre, veremos que mientras aquí se observaron 43 nuevas estaciones y tres seculares en el año 1917 y 36 y cuatro, respectivamente, en el año 1918 por las dos brigadas, lo que da un promedio de 19,75 nuevas estaciones y 1,75 seculares por brigada y año, en aquel país se observaron durante le año 1911 (últimos datos que poseemos), 351 nuevas estaciones y 83 de variación secular (aparte de las observadas en el mar por los tres barcos *Boche*, *Explorer*, *Patterson*, especialmente destinados al servicio magnético), y como el número de brigadas fué de 25, resulta un promedio de 14 nuevas estaciones y 3,3 seculares para cada brigada.

Se deduce de esta comparación que nuestros Observadores han trabajado con más celeridad, pero como, en cambio, el número de ellos es inferior, se hace indispensable el que den más rendimiento, prolongando a diez u once meses el tiempo de cada campaña si es que se quiere que la duración de las observaciones de todo el Mapa quede dentro de un plazo razonable de tiempo, y que, antes de emprender la acostumbrada y necesaria repetición del levantamiento, quede el suficiente para el estudio detallado de las anomalías, tan interesante en nuestro territorio, y al que tanto interés se viene concediendo en todos los países, no sólo por su gran valor científico sino por el descubrimiento de riquezas mineras a que seguramente dará lugar.

Plantilla para la colocación de las láminas.

Número	LÁMINA	Página.
I	Observatorio del Ebro.	
	Planta para la instalación de los variómetros.—Unifilar, bifilar y balanza Mascart.—Magnetómetro Dover..................	44
II	Observatorio del Ebro.—Inductor Schulze, para determinaciones absolutas de la inclinación magnética.............	45
III	Teodolito magnético y brújula de inclinación Brunner......	46
IV	Equipaje magnético de campaña proyectado por Morin.....	46
V	Aparato magnético de viaje ideado por el capitán Fraser....	46
VI	Magnetómetro Lamont, modificado por el U. S. Coast and Geodetic Survey....................................	46
VII	Inclinómetro Dover..	46
	EQUIPAJE MAGNÉTICO USADO EN ESPAÑA	
VIII	Base general..	48
IX	Declinómetro de fibra....................................	49
X	Declinómetro de pivote....................................	50
XI	Inclinómetro..	51
XII	Disposición para observar las desviaciones en la medición de la componente horizontal...............................	52
XIII	Disposición para observar las oscilaciones en la medición de la componente horizontal...............................	53
XIV	Teodolito astronómico.....................................	54
XV	Accesorios y embalaje.....................................	54
XVI	Embalajes abiertos..	54
XVII	Mapa magnético tabular de España..........................	Final.